

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH TAHU MENGGUNAKAN
REAKTOR ANAEROB BERSEKAT DAN AEROB**



Tesis
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-2 pada
Program Studi Ilmu Lingkungan

**Elly Yuniarti Sani
L4K002008**

**PROGRAM MAGISTER ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2006**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH TAHU MENGGUNAKAN
REAKTOR ANAEROB BERSEKAT DAN AEROB**

Disusun

**Elly Yuniarti Sani
L4K002008**

**Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada 14 Februari 2006
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima**

Ketua

Tanda Tangan

DR. Ir. Purwanto, DEA

.....

Anggota

1. Ir. Sumarno, M.Si

.....

2. DR.Ir.Setia Budi Sasongko, DEA

.....

3. Ir. Syafrudin, CES, MT

.....

Mengetahui
Ketua Program
Magister Ilmu Lingkungan,

Prof. DR. Sudharto P. Hadi. MES

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan didalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister dari Program Magister Ilmu Lingkungan seluruhnya merupakan hasil karya saya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tesis yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah ditulis sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Semarang, 14 Februari 2006

Elly Yuniarti Sani

RIWAYAT HIDUP



Nama : Elly Yuniarti Sani
Temp./Tgl lahir : Tanjung Karang, 17 Juni 1959
Alamat : Jln. Meranti Barat I No. 338
Semarang

PENDIDIKAN

1. Tamatan SD Negeri 6 Tanjung Karang Tahun 1965 ~ 1970
2. Tamatan SMPN 2 Tanjung Karang 1971 ~ 1973
3. SMA Negeri 2 Tanjung Karang 1973 ~ 1974
4. Tamatan SMA Muhamadiyah I Yogyakarta 1976
5. Tamat Sarjana Muda Pertanian di UPN Veteran Yogyakarta 1982
6. Tamat Sarjana pada Fak. Pertanian Jur. Agronomi UPN Veteran tahun 1987

Penulis bertugas di Universitas Semarang (USM) Semarang sebagai Dosen tetap Yayasan Alumni Universitas Diponegoro.

Menikah pada tahun 1982 dengan DR.Wahyu Setia Budi, MS dikarunia 3 orang anak : **Fika Safitri, Fasto Sepsatya, dan Fisa Savanti.**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan pertolongan-Nya penyusun tesis ini dapat selesai pada waktu nya. Pada kesempatan ini penulis menghaturkan terima kasih kepada :

- 1. Rektor universitas Semarang, Dekan Fakultas Teknologi Pertanian dan Peternakan yang telah memberi ijin untuk melanjutkan studi.**
- 2. Bapak DR.Ir.Purwanto, DEA dan Bapak Ir. Sumarno,MSi sebagai pembimbing.**
- 3. Bapak Warsito pemilik industri “Tahu Eco” dan Laboratorium Penelitian Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro yang telah memberi ijin dan bantuan dalam penelitian.**
- 4. Pengelola beserta segenap Dosen pengampu dan Tata Usaha Program Magister Ilmu Lingkungan yang banyak membantu penulis dalam studi.**
- 5. Suami dan putra-putri beserta seluruh keluarga tercinta yang telah memberi dukungan, doa dan inspirasi kepada penulis.**

Penulis tesis ini tidak luput dari kekurangan, oleh karenanya kritik dan saran yang konstruktif senantiasa diharapkan. Semoga tesis ini bermanfaat bagi pembacanya.

Semarang, Februari 2006

Elly Yuniarti Sani

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pengujian kinerja instrumen pengolah air limbah tahu skala laboraorium dengan menggunakan reaktor amaerob dan aerob. Variabel yang diteliti meliputi 12 variasi yaitu waktu tinggal (2, 4, 6 hari); perbandingan lumpur aktif dengan air limbah (1/2 dan 1/3) dan jarak sekat (10 cm-10cm); (5 cm-15 cm) pada reaktor anaerob. Respon yang diamati adalah konsentrasi COD air limbah tahu mulai dari influen, efluen anaerob dan efluen aerob, guna mengetahui efisiensi penurunan COD.

Air limbah tahu sebagai influen dialirkan ke reaktor anaerob, kemudian efluen anaerob dialirkan ke reaktor aerob. Sampel diambil dari 3 titik; influen, efluen anaerob dan efluen aerob. Pengamatan dilakukan dalam kondisi yang dianggap steady state, yang dalam penelitian ini lamanya adalah satu kali waktu tinggal. Variabel utama yang diamati dalam penelitian ini adalah COD (Chemical Oxygen Demand), melalui proses oksidasi menggunakan oksidator dikhromat $K_2Cr_2O_7$.

Hasil penelitian menunjukkan penurunan COD pada volume lumpur $\frac{1}{2}$ lebih besar dibanding volume lumpur $\frac{1}{3}$, Jarak sekat 10-10 cm berpengaruh sama dengan jarak sekat 5-15 cm. Penurunan COD terbesar terdapat pada waktu tinggal 6 hari. Penurunan COD pada efluen anaerob lebih kecil dibanding efluen aerob.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
ABSTRAK / INTISARI	x
BAB I : PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang Masalah	1
I.2 Perumusan Masalah	4
I.3 Tujuan Penelitian	6
I.4 Manfaat Penelitian	6
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	
II.1. Landasan Teori	
II.1.1 Proses Pembuatan Tahu dan timbulan limbah	8
II.1.2 Karakteristik Air Limbah Tahu	9
II.1.3 Pengolahan Limbah Cair Industri Secara Biologis	11
II.1.4 Pertumbuhan bakteri	13
II.1.5 Proses Anaerob	15
II.1.6 An aerob Baffled Reaktor	19
II.1.7 Proses Aerob	20
II.1.8 Attached Growth Process	21
II.1.9 Efisiensi Proses Pengolahan	21
II.2 Orginalitas Penelitian	22
II.3 Hipotesis	22

BAB III : METODE PENELITIAN	
III.1 Rancangan Penelitian	24
III.2 Rancangan Percobaan	24
III.3 Bahan dan Alat	26
III.4 Prosedur Penelitian	29
III.5 Analisis COD	30
III.6 Analisis Data	33
 BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
IV.1. Karakteristik Air Limbah Tahu	34
IV.2. Pengaruh Variasi Percobaan Terhadap Efisiensi Penurunan COD	35
IV.3 Pengaruh Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Anaerob	37
IV.4 Pengaruh Penurunan COD Fungsi Waktu tinggal	39
IV.5 Penurunan COD Total	42
 BAB V : KESIMPULAN	46
DAFTAR PUSTAKA	47
 LAMPIRAN	
1. Foto Industri Tahu ” Tahu Ecao “	49
2. Foto Di laboratorium Teknik Kimia UNDIP	52
3. Foto Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri	54

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Baku mutu air limbah	II-10
Tabel 2. Respon data yang diamati	III-26
Tabel 3. Instrumen Pendukung Penelitian	III-2
Tabel 4. Bahan-bahan yang Digunakan Dalam Penelitian	III-28
Tabel 5. Hasil Perhitungan Titrasi.	IV-33
Tabel 6. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu	IV-34
Tabel 7. Hasil Pengukuran Air Limbah Tahu	IV-36
Tabel 8. Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Anaerob	IV-37
Tabel 9. Penurunan Total COD Volume Lumpur 1/3, Sekat 10-10 cm.	IV-42
Tabel 10. Penurunan Total COD Volume Lumpur 1/3, Sekat 5-15 cm.	IV-42
Tabel 11. Penurunan Total COD Volume Lumpur 1/2, Sekat 10-10 cm.	IV-42
Tabel 12. Penurunan Total COD Volume Lumpur 1/2, Sekat 5-15 cm.	IV-43
Tabel 13. Penurunan Total COD	IV-43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema Proses Pembuatan Tahu	I-2
Gambar 2. Proses Kerja IPAL Industri Kecil Tahu	I-5
Gambar 3. Prose Pengolahan Air Limbah Tahu	I-6
Gambar 4. Keseimbangan bahan pada proses pembuatan tahu	II-8
Gambar 5. Skema Fase Pertumbuhan Mikroorganisme	II-13
Gambar 6. Diagram Alir Prosedur	III-25
Gambar 7. Reaktor Anaerob	III-26
Gambar 8. Reaktor Aerob	III-27
Gambar 9. Grafik Penurunan COD dengan Variabel Tetap Waktu Tinggal 2 hari	IV-39
Gambar 10. Grafik Penurunan COD dengan Variabel Tetap Waktu Tinggal 4 hari	IV-40
Gambar 11. Grafik Penurunan COD Total Fungsi Waktu Tinggal 6 hari untuk Sekat 5-15 cm	IV-41
Gambar 12. Grafik Penurunan COD Total Fungsi Waktu Tinggal untuk sekat 10-10	IV-44
Gamabr 13. Grafik Penurunan COD Total Fungsi Waktu Tinggal untuk sekat 5-15	IV-44

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Kebutuhan air untuk industri, pertanian dan keperluan rumah tangga terus meningkat di Indonesia, terutama di pulau Jawa. Sementara pemantauan kualitas air permukaan memperlihatkan bahwa kualitas air disungai-sungai mengalami penurunan. Air permukaan merupakan air baku utama bagi produksi air minum di kota-kota besar seperti Semarang, disisi lain pertumbuhan industri di kota besar juga meningkat, diantaranya industri makanan dalam hal ini adalah industri tahu.

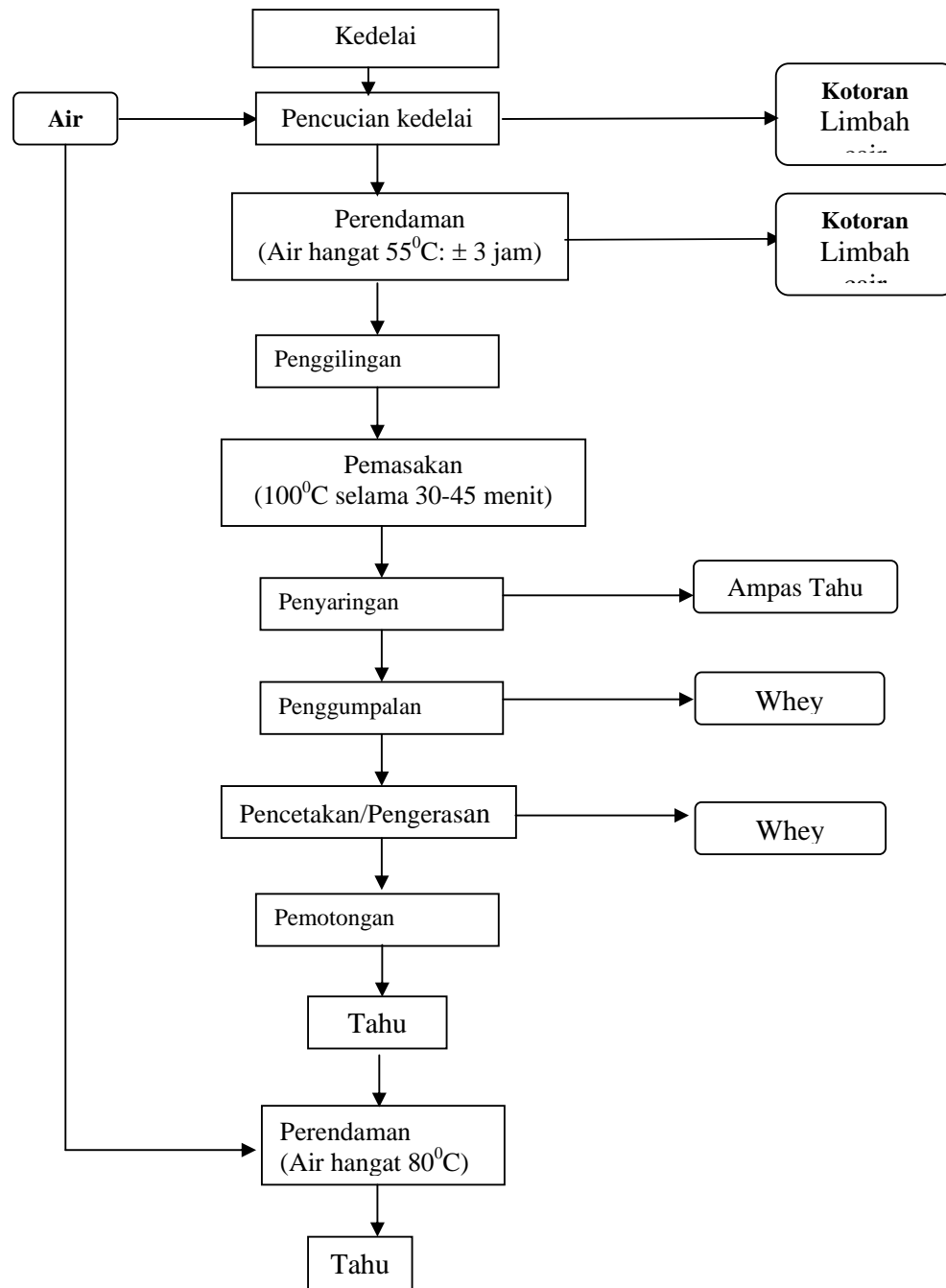
Tahu merupakan salah satu sumber makanan yang berasal dari kedelai yang mengandung protein tinggi, dimana dalam 100 gr tahu mengandung 68 gr kalori, protein 7,8 gr, lemak 4,6 gr, hidrat arang 1,6 gr, kalsium 124 gr, fosfor 63 mg, besi 0,8 mg, vitamin B 0.06 mg, air 84,8 gr (Partoatmojo, S. 1991).

Tahu diperoleh melalui proses pengumpalan (pengendapan) protein susu kedelai, bahan yang digunakan adalah batu tahu (CaSO_4), Asam cuka (CH_3COOH) dan MgSO_4 . Secara umum proses pembuatan tahu meliputi, perendaman, penggilingan, pemasakan, penyaringan, pengumpalan, pencetakan/pengerasan dan pemotongan. Skema proses pembuatan tahu disajikan pada gambar 1 dan lampiran 1.

Produksi tahu masih dilakukan dengan teknologi yang sederhana, dibuat oleh pengrajin sendiri dalam skala industri rumah tangga atau industri kecil sehingga tingkat efisiensi penggunaan air dan bahan baku kedelai dirasakan masih rendah dan tingkat produksi limbahnya sangat tinggi.

Industri tahu merupakan sektor yang potensial dalam upaya penyerapan tenaga kerja, terutama di daerah yang padat penduduknya. Industri kecil ini umumnya mempunyai modal kecil atau lemah, sehingga masih banyak keterbatasan yang harus mereka tanggulangi, diantaranya penanganan limbah.

Air limbah tahu sebagian besar terdiri dari limbah organik dengan nilai COD (Chemical Oxygen Demand) cukup tinggi, yaitu 5771 mg/l (Anonim 2004). COD adalah jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam satu liter sampel air. Nilai COD merupakan



Gambar 1. Skema Proses Pembuatan Tahu
(Sumber : Potter, C.Soepardi, M & Gani A.
1994)

ukuran pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air. Sehingga jika air limbah tahu langsung dibuang ke badan air akan menurunkan oksigen terlarut dalam air.

Bila hal ini dibiarkan akan menimbulkan bau busuk yang dapat mengganggu masyarakat dari segi estetika dan kesehatan.

Untuk mengurangi beban polusi akibat buangan air limbah industri tahu, maka perlu adanya instalasi pengolahan limbah yang memadai sehingga memenuhi baku mutu air limbah sebelum dibuang ke badan air penerima.

Air limbah tahu merupakan limbah organik dan tidak mengandung logam berat, sehingga proses pengolahannya dapat dilakukan secara biologi. Proses pengolahan biologi merupakan suatu proses pengolahan limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme seperti bakteri untuk mendegradasi kandungan polutan. Sistem pengolahan secara biologi dapat menghasilkan produk olahan, maupun produk samping yang lebih aman terhadap lingkungan, dan lumpur yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik atau media tanam yang sangat baik.

Didaerah Semarang industri tahu terletak didaerah Jomblang dan telah dibangun Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) tahu secara biologis. IPAL digunakan untuk menampung air limbah tahu dari 9 pengrajin tahu di kelurahan Jomblang.

Pengolahan air limbah dilakukan dengan pengoperasian Reaktor anaerob bersekat dan kolam aerasi yang dipasang secara seri, secara skematis proses pengolahan air limbah tahu disajikan pada gambar 2 dan Gambar 3.

Indikator baku mutu air limbah tahu ditunjukkan pada kolam biotop yang diisi ikan dan tumbuhan air.

Pada Penelitian ini ingin diketahui apakah ada perbedaan antara jarak sekat yang sama dengan jarak sekat yang tidak sama pada reaktor anaerob terhadap efisiensi penurunan COD.

Keberhasilan pengolahan secara biologi diantaranya ditentukan oleh pengendalian aspek rejim hidrolik. Rejim hidrolik meliputi pola aliran masuk dan keluar, proses pencampuran, distribusi fluida dan padatan yang ada pada reaktor.

Pengamatan terhadap aspek rejim hidrolik dilakukan dengan pengamatan terhadap pola aliran masuk dan keluar. Pengoperasian IPAL dimulai dengan pengumpulan air limbah tahu dari 9 pengrajin, kemudian dialirkan kebak penampung volume 10,8 m x 0.6 m x 3.0 m; $Q = 0,3 \text{ m}^3 / \text{detik}$ sehingga waktu tinggal pada IPAL =

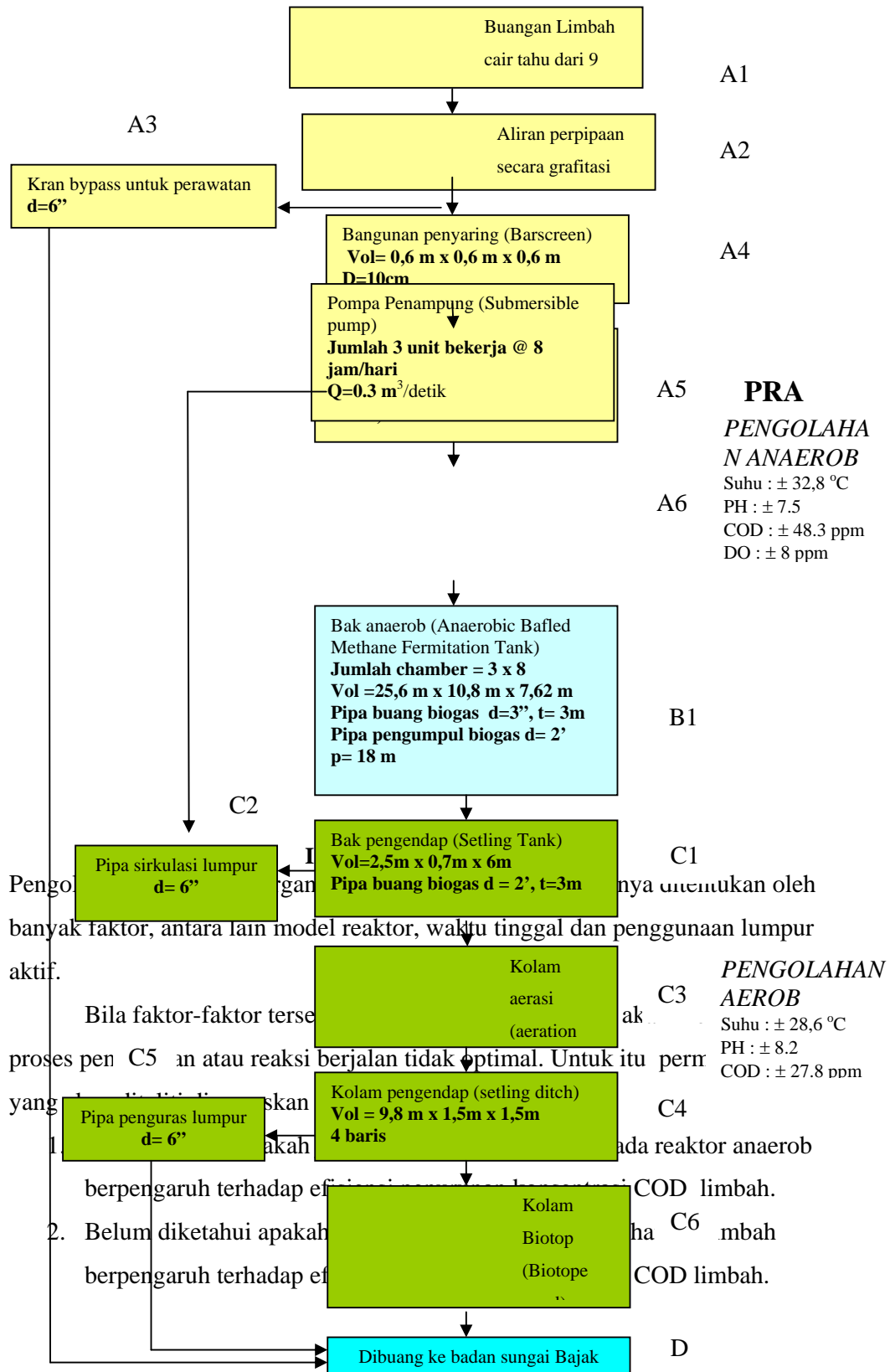
Konsentrasi influen air limbah berfluktuasi. Pengaliran influen air limbah yang tidak kontinyu dari bak penampung ke reaktor anaerob dengan debit yang berubah-ubah menyebabkan waktu tinggal proses pengolahannya juga berubah-ubah.

Menurut Droste (1997) waktu tinggal mempengaruhi proses pengolahan limbah cair secara biologis. Dengan demikian perlu diteliti pengaruh waktu tinggal terhadap efisiensi penurunan COD.

Aspek ketiga adalah penggunaan lumpur aktif pada reaktor anaerob. Lumpur aktif berfungsi sebagai media pertumbuhan mikroorganisme, sehingga perlu diteliti volume lumpur aktif.



Gambar 2. Proses Kerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri kecil Tahu.



Gambar 3. Proses Pengolahan Air Limbah Tahu

3. Belum diketahui pengaruh volume lumpur aktif terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD Limbah.

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan kondisi operasional terbaik dalam pengolahan air limbah tahu secara biologi untuk :

1. Mengetahui pengaruh jarak sekat (hidrodinamika) pada reaktor anaerob terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD limbah.
2. Mengetahui pengaruh berbagai variasi waktu tinggal dalam reaktor anaerob dan aerob terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD limbah.
3. Mengetahui pengaruh volume lumpur aktif terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD Limbah.

I.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi yang terbaik untuk proses anaerob dan aerob dalam pengolahan air limbah tahu berkaitan dengan penurunan konsentrasi COD air limbah tahu secara efisien. Dengan demikian efluen yang keluar dari reaktor anaerob cukup rendah konsentrasi COD-nya untuk proses selanjutnya secara aerob, sehingga diharapkan efluen yang dikeluarkan dari IPAL dapat memenuhi persyaratan baku mutu lingkungan untuk air limbah tahu.

BAB II

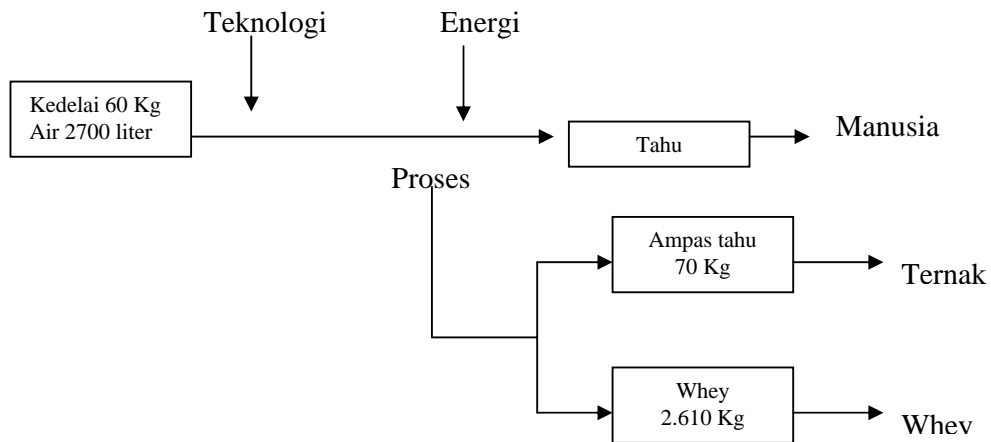
TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Landasan Teori.

II.1.1. Proses Pembuatan Tahu dan Timbulan Limbah.

Tahu adalah hasil olahan dari ekstrak kedelai, melalui proses penggumpalan (pengendapan) protein susu kedelai. Bahan yang biasa digunakan adalah batu tahu (CaSO_4), asam cuka (CH_3COOH) dan MgSO_4 .

Jumlah air yang dibutuhkan dari proses pembuatan tahu mulai dari tahap perendaman sampai pencucian ampas adalah 135 liter untuk 3 kg kedelai atau 45 liter per 1 kg kedelai. Keseimbangan bahan pada proses pembuatan tahu disajikan pada gambar 4.



Gambar 4 : Keseimbangan bahan pada proses pembuatan tahu

(Sumber : Sukanti, Tahirah S. & Sukirno, 2004)

Dari gambar nampak bahwa keseimbangan bahan dalam proses pembuatan tahu adalah :

$$\begin{array}{rclclcl} \text{Air} & + & \text{Kedelai} & = & \text{Tahu} & + & \text{Ampas tahu} & + & \text{Whey} \\ 2.700 \text{ kg} & + & 60 \text{ kg} & = & 80 \text{ kg} & + & 70 \text{ kg} & + & \text{Whey} \\ & & \text{Whey} & = & 2.610 \text{ kg} & & & & \end{array}$$

Input berupa bahan baku dengan suatu proses akan menghasilkan suatu hasil yaitu output, dimana dalam proses perubahan tersebut memerlukan energi dan teknologi. Selanjutnya output berupa hasil akan digunakan oleh manusia.

Pada perubahan proses dari input menjadi output akan menghasilkan sampah. Sampah akan dihasilkan pula dari sisa penggunaan manusia. Sampah apabila diolah dapat dikonversikan akan berguna dan merupakan bahan baku baru untuk input yang lain. Sampah dapat terdekomposisi atau diurai oleh bakteri menjadi bagian tertentu dan yang tidak dapat terurai akan ditumpuk dalam. Dalam proses pembuatan tahu, bahan baku atau input berupa kedelai dengan bantuan air, akan menghasilkan tahu, sedang hasil sampingnya berupa ampas tahu dan limbah cair berupa whey. Ampas tahu dapat dikonversikan sebagai bahan makanan ternak dan ikan serta oncom, sedangkan whey sebagian besar belum dapat dimanfaatkan (kadang-kadang digunakan sebagai biang), di alam akan berupa limbah (sampah organik) yang kemudian akan diuraikan oleh bakteri.

Dari proses pembuatan tahu ini dapat diketahui timbulan limbah yang dihasilkan antara lain, limbah padat berupa ampas tahu dan limbah cair. Ampas tahu dapat dikonversikan sebagai bahan makanan ternak dan ikan serta oncom. Sebagian besar sumber limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut air dadih (whey), sedang sumber limbah cair lainnya berasal dari pencucian kedele, pencucian peralatan proses, pemasakan dan larutan bekas rendaman kedele.

Pada pembuatan tahu secara tradisional akan menghasilkan ampas tahu dengan kandungan protein yang tinggi dibandingkan dengan pengolahan cara mekanis. Kadar protein berdasarkan berat kering di dalam ampas adalah 22%, sedangkan dalam kedelai 38%.

II.1.2. Karakteristik Limbah Cair Tahu

Sebagian besar sumber limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut dengan air dadih (whey). Cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Limbah cair ini sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menghasilkan bau busuk dan

mencemari sungai. Sumber limbah cair lainnya berasal dari pencucian kedelai, pencucian peralatan proses, pemasakan dan larutan bekas rendaman kedele.

Jumlah air limbah tahu yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu kira-kira 15-20 l / kg bahan baku kedelai, sedangkan beban pencemarannya kira-kira sebesar 30 kg Total Suspended Solids (TSS) / kg bahan baku kedelai , Biological Oxygen Demand (BOD) 65 gr / kg bahan baku kedelai dan Chemical Oxygen Demand (COD) 130 gr/ kg bahan baku kedelai. (Potter, C.Soeparwadi, M & Gani A. 1994).

Total Suspended Solids (Padatan Total tersuspensi) adalah zat-zat padat tersuspensi yang tersisa sebagai residu dalam suatu bejana, bila sampel air dalam bejana tersebut dikeringkan pada suhu tertentu. Biological Oxygen Demand (kebutuhan oksigen biologis) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri untuk menguraikan atau mengoksidasikan hampir semua zat organik yang terlarut dan sebagian zat-zat organik yang tersuspensi dalam air. Chemical Oxygen Demand atau kebutuhan oksigen kimia, merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis.

Parameter kunci dalam pengendalian limbah tahu adalah, temperatur, BOD, COD, TSS, dan pH. Untuk pengendalian pencemaran Pemerintah Provinsi Jawa Tengah Mengeluarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. : 10 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah, untuk air limbah tahu tertera pada tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Baku Mutu Air Limbah Tahu

No	PARAMETER	INDUSTRI TAHU	
		KADAR MAKSIMUM (Mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)
1.	Temperatur	38°C	-
2.	BOD ₅	150	3
3.	COD	275	5,5
4.	TSS	100	2
5.	PH	6,0 – 9,0	
6.	Debit maksimum	20 m ³ / ton kedelai	

(Peraturan Daerah Propinsi Jateng No.10, Th 2004)

II.1.3. Pengolahan Limbah Cair Industri Secara Biologis

Menurut Mardisiswoyo, P et al.1993 yang dimaksud dengan limbah industri adalah segala bentuk bahan, yang tidak atau belum punya arti ekonomis, yang dihasilkan suatu proses teknologi yang dipakai, atau karena kecerobohan operator dan atau hal lain yang tidak dapat diperkirakan sebelumnya harus terbangun keluar dari berbagai unit proses yang ada. Sedangkan limbah cair industri adalah semua limbah industri yang berbentuk cairan atau berada dalam fase cair.

Pengolahan limbah cair industri pada hakekatnya adalah suatu perlakuan tertentu yang harus diberikan pada limbah cair sebelum limbah tersebut terbangun ke lingkungan penerima limbah. Untuk dapat menentukan secara tepat perlakuan yang sebaiknya diberikan pada limbah cair, terlebih dahulu diketahui secara tepat karakteristik dari limbah melalui berbagai penetapan berbagai parameter untuk mengetahui macam dan jenis komponen pencemar serta sifat-sifatnya.

Pengolahan limbah cair meliputi pengolahan fisika, pengolahan kimia dan pengolahan biologis. Pengolahan fisika dilakukan terhadap air limbah dengan kandungan bahan limbah yang dapat dipisahkan secara mekanis langsung. Pengolahan secara kimia merupakan proses dimana perubahan, penguraian atau pemisahan bahan yang tidak diinginkan berlangsung karena mekanisme reaksi kimia.

Proses pengolahan limbah cair secara biologis dilakukan dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme (bakteri, ganggang, protozoa, dll) untuk menguraikan atau merombak senyawa-senyawa organik dalam air menjadi zat-zat yang lebih sederhana (stabil).

Dalam sistem biologi, mikroorganisme menggunakan limbah untuk mensintesis bahan seluler baru dan menyediakan energi untuk sintesis. Mikroorganisme juga dapat menggunakan suplay makanan yang sebelumnya sudah terakumulasi secara internal atau endogenes untuk respirasi dan melakukannya terutama bila tidak ada sumber makanan dari luar atau eksogenes. Sintesis dan respirasi endogenes berlangsung secara simultan dalam sistem

biologis, dengan sintesis yang berlangsung lebih banyak bila terdapat makanan eksogenes yang berlebihan, dan respirasi endogenes akan mendominasi bila suplay makanan eksogenes sedikit atau tidak ada.

Secara umum reaksi yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut ini.

Limbah yang dapat dimetabolisme dan mengandung energi + mikroorganisme → produk akhir + lebih banyak mikroorganisme.

Bila pertumbuhan terhenti, mikroorganisme mati dan lisis melepaskan nutrien dari protoplasmanya untuk digunakan oleh sel-sel yang masih hidup dalam suatu proses respirasi selular autoksidatif atau endogenes. Reaksinya secara umum adalah sebagai berikut :

Mikroorganisme → produk akhir + lebih sedikit mikroorganisme

Dengan adanya bahan limbah (makanan), metabolisme mikroba akan berlangsung memproduksi sel-sel baru dan energi, dan padatan mikroba akan meningkat. Bila tidak ada makanan, respirasi endogenes akan berlangsung lebih banyak dan akan terjadi pengurangan padatan mikroba (Betty Sri,LJ & Winiati Puji,R.1993)

Perlakuan mikroorganisme terhadap limbah cair tersebut sebenarnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, yaitu sebagai sumber nutrisi, yang selanjutnya diperlukan untuk energi dan bahan-bahan pembangunan sel atau konstituen sel.

Dalam memanipulasi mikroorganisme tersebut diperlukan kondisi lingkungan yang sesuai bagi persyaratan hidupnya. Faktor-faktor lingkungan yang dimaksud meliputi faktor biotik, misalnya temperatur, pengeringan, tekanan osmose, ion-ion dan listrik, tegangan muka, getaran, tekanan hidrostatik dan mekanik, radiasi. Sedang faktor biotiknya antara lain: bentuk, sifat, penyebaran dan kemampuan mikroorganisme serta sistem kehidupannya (simbiose, antisimbiose).

Proses pengolahan limbah cair secara biologis umumnya merupakan kelanjutan dari proses pengolahan tahap pertama (cara fisis dan kimia), agar limbah tersebut menjadi bersih dari kotoran-kotaran kasar dan bahan-bahan terapung, serta menghilangkan atau mengeliminir zat-zat yang bersifat racun.

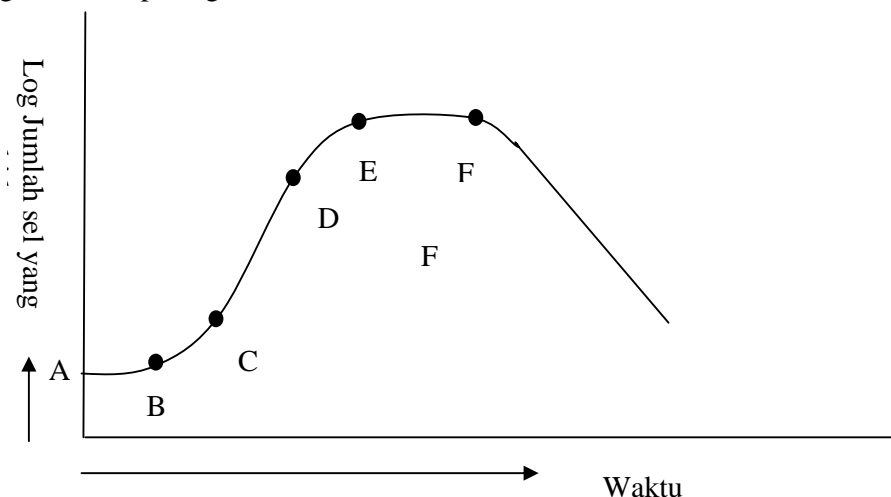
Dengan demikian kondisi lingkungan tersebut dapat memungkinkan bagi mikroorganisme untuk melakukan kegiatannya.

II.1.4. Pertumbuhan Bakteri

Menurut Volk, WA & Wheeler, MT, (1998) Pertumbuhan mikroorganisme atau bakteri adalah meningkatnya jumlah sel konstituen (yang menyusun). Meningkatnya jumlah bakteri ini terjadi karena adanya pembelahan biner yaitu setiap bakteri membentuk dinding sel baru melintangi diameter pendeknya, lalu memisah menjadi dua sel, masing-masing sel kemudian membelah menjadi dua sel lagi dan seterusnya.

Hasil keseluruhan pertumbuhan semacam ini adalah penambahan jumlah bakteri secara deret ukur. Jadi keturunan bakteri tunggal akan berlipat dua pada setiap pembelahan. Jika keadaan baik, hampir semua bakteri mampu berkembang biak amat cepat. Waktu yang diperlukan bagi satu organisme untuk membelah menjadi dua disebut waktu generasi. Waktu generasi selama pertumbuhan aktif bervariasi sesuai jenis bakteri.

Laju pertumbuhan bakteri dapat diproyeksikan sebagai logaritma jumlah sel terhadap waktu pertumbuhan. Dengan cara ini kurva pertumbuhan bakteri dapat digambarkan pada gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Skema Fase Pertumbuhan Mikroorganisme
(Sumber : Volk, WA & Wheeler, MT, (1998))

Fase A-B disebut tahap istirahat yang dikenal fase laten, selanjutnya disebut fase lambat (lag phase), adalah fase pertumbuhan awal, fase ini juga merupakan fase penyesuaian , seringkali disebut fase adaptasi. Waktu yang dibutuhkan pada fase lambat sangat bervariasi tergantung pada spesies, umur dari sel dan lingkungannya. Pada tahap ini mikroorganisme akan hidup terus tetapi belum dapat berkembang biak dengan baik. Waktu yang dibutuhkan yaitu untuk kegiatan metabolisme untuk persiapan dan penyesuaian dengan kondisi lingkungan. Setelah itu barulah diikuti dengan pembiakan.

Fase B-C dinamakan tahap tumbuh (accelerate phase), yaitu setelah mikroorganisme beradaptasi dengan keadaan yang baru, kemudian sel-sel mikroorganisme akan tumbuh dan membelah diri.

Fase C-D yaitu tahap pertumbuhan ganas (log phase). Fase ini disebut dengan fase pertumbuhan logaritmik karena jumlah sel meningkat secara logaritmik, yang dapat dihitung sebagai berikut: $N_1 = N_0 \times 2^{(t_1 - t_0)\mu}$

$$\text{atau } \log N_1 = \log N_0 + 0.301 (t_1 - t_0)\mu$$

N_0 & N_1 masing-masing adalah jumlah sel mula-mula dan setelah jangka waktu t_1 , sedangkan $(t_0 - t_1)$ adalah waktu yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk berkembang dari N_0 menjadi N_1 , dan μ adalah kecepatan pertumbuhan rata-rata (specific growth rate). Fase pertumbuhan logaritmik seringkali juga disebut fase pertumbuhan eksponensial (kurva pertumbuhannya merupakan fungsi eksponensial dengan waktu).

Fase D-E adalah tahap pertumbuhan mereda (decelerate phase). Pada tahap ini pertumbuhan mikroorganisme mulai menurun karena persediaan makanan mulai berkurang atau kalau adanya racun dari hasil metabolisme mikroorganisme itu sendiri.

Fase E-F disebut periode pertumbuhan tetap (stationary phase). Jumlah mikroorganisme yang tumbuh seimbang dengan yang mati sebagai kelanjutan dari menurunnya jumlah bahan gizi atau penimbunan racun. Kecepatan pertumbuhan menurun dan akhirnya pertumbuhan terhenti. Sel-sel mikroorganisme pada periode ini umumnya lebih tahan terhadap perubahan-perubahan kondisi fisik

seperti suhu tinggi, suhu rendah, penyinaran atau radiasi, serta berbagai bahan kimia.

Fase F dan seterusnya disebut fase menurun (decline phase) atau periode kematian (death phase). Sel-sel yang berada dalam periode pertumbuhan tetap akhirnya akan mati. Seperti halnya fase pertumbuhan eksponensial, maka fase kematian merupakan penurunan secara garis lurus. Kecepatan kematian beragam tergantung pada spesies mikroorganisme dan kondisi lingkungan (Rizal Syarif & Hariyadi Halid, 1993).

Proses pengolahan limbah cair secara biologis umumnya merupakan kelanjutan dari proses pengolahan tahap pertama (cara fisis dan kimia), agar limbah tersebut menjadi bersih dari kotoran-kotoran kasar dan bahan-bahan terapung, dsb serta menghilangkan atau mengeliminir zat-zat yang bersifat racun. Dengan demikian kondisi lingkungan tersebut dapat memungkinkan bagi mikroorganisme untuk melakukan kegiatannya.

Dalam pengolahan limbah cair secara biologis perlu diperhatikan tiga aspek pengolahan limbah cair meliputi stoikiometri reaksi, rejim hidrolik dan kinetika reaksi. Stoikiometri reaksi meliputi jumlah reaktan atau substrat yang dikonsumsi dan produk atau mikroorganisme yang dihasilkan. Rejim hidrolik meliputi pola aliran masuk dan keluar, proses, pencampuran, distribusi fluida dan padatan yang ada dalam reaktor, sedangkan kinetika reaksi meliputi laju reaksi yang terjadi (Mas'ari dan Ekowati, 2000).

II.1.5. Proses Anaerob

Proses fermentasi anaerob pada dasarnya adalah proses yang mengubah senyawa organik menjadi metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) tanpa kehadiran oksigen (O_2). Dekomposisi senyawa organik melalui proses anaerob ini terjadi melalui tiga tahapan proses, yaitu tahap reaksi hidrolisis, tahap reaksi pembentukan asam, dan tahap reaksi pembentukan metana.

Reaksi hidrolisis merupakan proses pelarutan senyawa organik yang mulanya tidak larut dan proses penguraian senyawa tersebut menjadi senyawa dengan berat molekul yang cukup kecil untuk dapat melewati membran sel.

Reaksi ini dikatalis oleh enzim yang dikeluarkan oleh bakteri anaerob. Zat-zat organik seperti polisakarida, lemak, dan protein, dihidrolisa menjadi gula dan asam-asam amino.

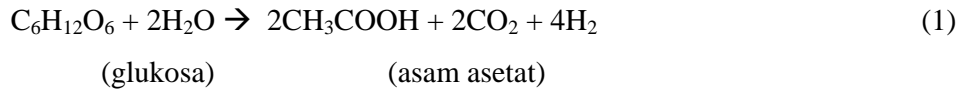
Proses pembentukan asam melibatkan dua golongan besar bakteri, yaitu bakteri asidogenik dan bakteri asetogenik. Bakteri asidogenik pada mulanya memfermentasikan hasil hidrolisa menjadi asam-asam lemak volatil berantai pendek seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat, H_2 , CO_2 , asam laktat, asam valerat, etanol, amonia, dan sulfida. Konsentrasi H_2 memegang peranan penting dalam mengontrol proporsi berbagai produk bakteri asidogenik. Asam propionat dan asam-asam lemak lainnya yang dihasilkan oleh bakteri asidogenik dikonversi oleh bakteri asetogenik menjadi asam asetat, H_2 , dan CO_2 .

Pada proses pembentukan metana, gas metana yang dihasilkan terutama berasal dari asam asetat, tetapi ada juga gas metana yang terbentuk dari hidrogen dan karbon dioksida. Ada dua kelompok bakteri yang berperan, yaitu bakteri metana asetoklasik dan bakteri metana pengonsumsi hidrogen. Bakteri metana asetoklasik mengubah asam asetat menjadi karbon dioksida dan metana. Bakteri ini mampu mengontrol nilai pH proses fermentasi dengan jalan mengonsumsi asam asetat dan membentuk CO_2 . Bakteri pengonsumsi hidrogen mengubah hidrogen bersama-sama dengan karbon dioksida menjadi metana dan air. Sisa hidrogen yang tertinggal mengatur laju produksi asam total dan campuran asam yang diproduksi oleh bakteri pembentuk asam. Hidrogen juga mengendalikan laju konversi asam propionat dan asam butirat menjadi asam asetat.

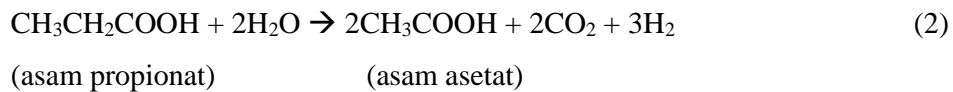
Pelaksanaan tahapan proses yang terlibat dalam proses anaerob melibatkan bakteri yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Bakteri hidrolitik memiliki populasi sebesar 10^8 - 10^9 bakteri untuk setiap mililiter lumpur buangan mesofilik atau 10^{10} - 10^{11} bakteri untuk setiap gram padatan volatil yang diperoleh. Contoh bakteri hidrolitik antara lain adalah *Bacteroides*, *Clostridia*, *Bifidobacteria*, bakteri fakultatif *Streptococci* dan *Enterobacteriaceae*, serta beberapa bakteri gram positif dan gram negatif.

Bakteri asidogenik termasuk bakteri yang dapat tumbuh dengan cepat (waktu penggandaan sekitar 30 menit), yang memfermentasikan glukosa menjadi

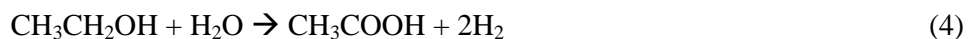
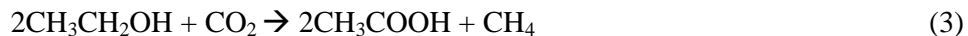
campuran asam-asam volatil. Reaksi yang utama adalah konversi glukosa menjadi asam asetat seperti pada persamaan reaksi berikut ini :



Reaksi ini membuat bakteri pembentuk asam memperoleh energi yang paling besar dan menyediakan substrat yang utama untuk produksi metana bagi bakteri asetoklasik. Bakteri asetoklasik mengkonversi asam-asam volatil seperti asam propionat, asam butirat, alkohol, dan beberapa senyawa aromatik menjadi asam asetat dengan persamaan reaksi berikut ini :



Etanol sebagai produk bakteri asidogenik diuraikan menjadi asam asetat melalui reaksi-reaksi sebagai berikut :



Contoh bakteri yang diperkirakan mampu untuk berfungsi sebagai bakteri asetogenik antara lain *Syntrophobacter wolinil* dan *Syntrophomonas wolifil*

Bakteri penghasil metana memerlukan potensial redoks yang lebih rendah dari pada bakteri anaeroblain untuk pertumbuhannya. Oleh sebab itu kehadiran oksigen dalam konsentrasi tinggi dicegah dengan pembiakan bakteri pada kondisi potensial reduksi yang rendah.

Bakteri metana asetosiklik mengubah asam asetat menjadi campuran karbon dioksida dan metana sesuai dengan reaksi berikut :

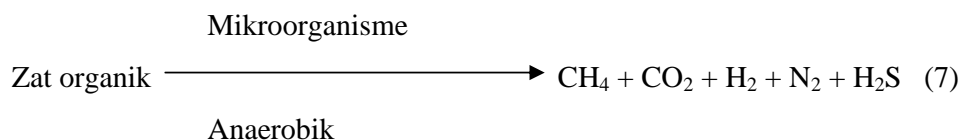


Bakteri ini tumbuh sangat lambat dengan waktu penggandaan minimum 2-3 hari. Bakteri metana mengkonsumsi hidrogen mendapatkan energi untuk pertumbuhannya dari reaksi sebagai berikut :



bakteri ini mengubah hampir seluruh hidrogen yang ada dalam sistem. Pertumbuhannya cukup lambat dengan waktu penggandaan sekitar 6 jam. Beberapa contoh bakteri penghasil metana antara lain *Methanobacterium formicum*, *Methanobacterium mobilis*, *Methanobacterium propionicum*, *Methanobacterium ruminantium*, *Methanobacterium sohngeniei*, *Methanobacterium annielii*, *Methanobacterium bakteri*, dan *Methanobacterium methanica* (Setiadi,Tj. 2001)

Degradasi zat organik secara mikrobiologi dalam lingkungan anaerobik hanya dapat dilakukan oleh mikroorganisme yang dapat menggunakan molekul selain oksigen sebagai akseptor hidrogen. Dekomposisi anaerobik menghasilkan biogas yang terdiri atas gas metana (50-70%), CO₂ (25-40%) dan sejumlah kecil H₂S. Reaksi kimia secara keseluruhan disederhanakan sebagai berikut:



Konversi substrat organik menjadi CO₂ dan CH₄ dibawah kondisi anaerob memerlukan kehadiran 3 kelompok bakteri yang saling bergantung untuk menghasilkan fermentasi yang tetap. Kelompok pertama dikenal sebagai bakteri fermentatif, terdiri dari bermacam-macam bakteri terutama obligate anaerob (Hobson et al, 1974) dalam Yulianti S. & Sarwoko M, 2001. Kelompok ini memerlukan hidrolisa substrat organik kompleks menggunakan enzim ekstraseluler menjadi komponen yang lebih sederhana. Kelompok kedua dikenal sebagai bakteri asetonik penghasil hidrogen (Mc Inerney & Bryant, 1981),

mengkatabolis semua komponen karbon yang lebih dari 2 atom karbon menjadi asetat, H_2 , dan CO_2 . Kelompok bakteri terakhir adalah methanogens, mengkatabolis asetat, CO_2 , dan H_2 untuk menghasilkan gas CH_4 dan CO_2 .

Kemampuan mikroorganisme untuk mengkonversi sebagai molekul kompleks menjadi CO_2 dan CH_4 biasanya terdiri dari 3 kelompok:

- a. Organisme hidrolisis-fermentatif
- b. Organisme acetogen
- c. Organisme methanogens

Kelompok pertama dapat bertindak dan beroperasi sendiri, tidak tergantung pada kelompok b dan c. Kelompok acetogen dan methanogens sangat tergantung satu sama lainnya, sehingga sering disebut sebagai asosiasi atau konsorsium metanogenik (Verstra. 1990-1991) dalam Yuliati S. & Sarwoko M, 2001.

II.1.6. Anaerob Baffled Reactor

Reaktor jenis ini dikembangkan oleh Bachman dan Mc Carty di Stanford University tahun 1982, berbentuk tangki persegi panjang, dibagi 4 kompartemen berukuran sama. Masing-masing kompartemen dipisahkan dinding dari arah atas dan dasar tangki, zat cair dialirkan menuju ke atas lalu ke bawah antar dinding dan menuju ke atas lagi melalui sludge anaerobik blanket hingga melewati kompartemen ke 4. Dalam reaktor ini terjadi kontak antara air limbah dengan biomassa aktif, dimana direncanakan dengan reaktor ini biomassa akan tertahan sebanyak mungkin. Berdasarkan hasil penelitian Bachman et al (1982), reaktor jenis ini mampu menyisihkan COD hingga 80%. Uji yang sama telah dilakukan dengan air buangan yang diencerkan (0,48 gr/l COD) dan unjuk kerja yang sama diperoleh pada suhu $25^{\circ}C$. (Chariton, AP & Whono, H. 2000)

Penelitian yang dilakukan oleh Chariton AP dan Wahono, H (2000) menunjukan bahwa penggunaan Reaktor Aliran Horizontal Baffled Reaktor (AHBR) mampu menerima beban organik hingga $8,0 \text{ kg COD/m}^3$ hari, dan produksi biogas tertinggi dihasilkan pada beban organik $5,3 \text{ kg COD/m}^3$ hari.

Yuliati, S dan Sarwoko Mangkudiharjo (2001) mengemukakan hasil penelitiannya bahwa menggunakan reaktor AHBR dengan komposisi nutrisi

(COD : N : P = 8738 mg/l : 23,77 mg / l : 1,92 mg/l atau 300 : 0,8 : 0,06) menunjukkan efisiensi penurunan COD air limbah tempe sebesar 81,92 %.

Pengolahan air limbah industri tahu yang dilakukan dengan menggunakan proses anaerobik dengan bentuk reaktor bersekat (anaerobik baffled reaktor), mempunyai keuntungan karena cocok untuk daerah tropis (mikroorganisme mesofilik), sedangkan bentuk reaktor memberikan keuntungan karena memberi kontak yang lebih baik antar lumpur aktif yang ada dengan air limbah (upflow dan down flow).

II.1.7. Proses Aerob

Bahan-bahan organik yang terdapat dalam limbah dapat dipecah oleh mikroorganisme aerob menjadi bahan yang tidak mencemari, dimana pemecahan ini berlangsung dalam suasana aerob (ada Oksigen).

Bahan-bahan organik + mikroorganisme aerobik + O₂

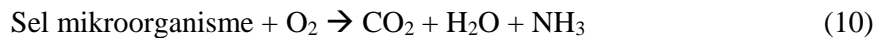
Oksidasi



Perkembangan Mikroorganisme



Oksidasi Endogen



Bahan-bahan organik tersebut sebagian digunakan oleh mikroorganisme sendiri dan sebagian lagi dipecah menjadi CO₂ dan H₂O. Penggunaan tersebut antara lain untuk pertumbuhan, perbanyakan, dll. Setiap mikroorganisme dalam menjaga kelangsungan hidupnya selalu melakukan metabolisme, sehingga perlu tambahan bahan-bahan organik dan dikeluarkan atau dihasilkan CO₂, H₂O dan NH₃ (Mardisworo, P et al.1993).

II.1.8. Attached Growth Proccess

Attached Growth Proccess adalah proses pengolahan biologis dimana pada proses ini mikroorganisme yang mengkonversi zat organik atau kontituen lainnya dalam air buangan menjadi gas-gas dan jaringan terikat pada media lembam (inert), seperti batuan, kerak, atau media lain dari plastik atau keramik (Eddy dan Metcalf, 1979).

Dalam proses ini zat organik dalam air buangan diuraikan sejumlah mikroba yang terikat pada suatu medium. Zat organik dari air buangan tersebut diadsorpsi pada lapisan biologis / lapisan berupa lendir. Pada bagian terluar biofilm, zat organik diuraikan mikroorganisme aerobik. Karena terjadi pertumbuhan mikroorganisme, lapisan lendir makin menebal, dan difusi oksigen tidak dapat mencapai kedalaman total dari lapisan biofilm. Karena itu, suasana anaerobik timbul pada daerah sekitar permukaan media.

Karena penebalan tersebut, zat organik telah habis teradsorpsi sebelum mencapai lapisan biofilm disekitar permukaan media. Akibat tidak adanya sumber organik eksternal untuk sel karbon, mikrooragisme disekitar permukaan media mengalami fase *endogenous* dan kehilangan kemampuan untuk melekat pada media. Biofilm yang telah mengalami fase endogenous terbawa keluar dari biofilter. Selanjutnya lapisan biofilm yang baru terbentuk dan melekat pada media untuk menggantikan lapisan lama yang mengalami *sloughing*.

II.1.9.Efisiensi Proses Pengolahan

Menurut Droste (1997) efisiensi pengolahan limbah merupakan rasio antara kandungan organik yang disisihkan melalui proses pengolahan dengan konsentrasi awal. Efisiensi pengolahan limbah dihitung sebagai berikut :

$$\eta = \frac{S_o - S_e}{S_o} \quad (11)$$

dimana η adalah efisiensi (%)

S_o adalah konsentrasi COD influen

S_e adalah konsentrasi COD efluen

Faktor efisiensi keberkaitan dengan efisiensi pengolahan secara keseluruhan (ditunjukan dengan menurunkan COD dalam limbah) dan konsentrasi senyawa nonbiodegradable)

dalam influen berkisar antara 0,6 ~ 0,9. Batas minimum konsentrasi COD influen untuk mencapai keberhasilan pengolahan anaerob adalah 1000 mg / l, meskipun beberapa penelitian menunjukkan keberhasilan pengolahan pada konsentrasi COD yang lebih rendah. Bertambahnya konsentrasi substrat influen akan meningkatkan efisiensi proses biologis.

II.2. Originilitas Penelitian

Penelitian proses anaerob dan aerob untuk pengolahan air limbah tahu bukanlah penelitian yang baru. Peneltian yang terdahulu yang pernah dilakukan antara lain : Penurunan Kandungan Phospat dalam limbah tahu dengan sistem biological attached growth (Winanto Rusli dan Agus Slamet, 2000), pertumbuhan bed lumpur dan produksi biogas pada pengolahan air limbah tahu (Chariton AP dan Wahyono Hadi, 2000), dan teknologi penanganan limbah cair tahu (Sriharti, Takiyah Salim dan Sukirno, 2004).

Penelitian pengolahan air limbah tahu menggunakan reaktor anaerob bersekat dengan variasi jarak sekat, tinggi lumpur dan waktu tinggal terhadap penurunan COD belum pernah dilakukan sebelumnya.

II.3. Hipotesis

Penelitian ini dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut :

1. HO : Variasi jarak sekat (10 cm – 10 cm) dengan (5 cm – 15 cm) pada reaktor anaerob diduga memberi pengaruh yang sama terhadap efisiensi penurunan konsentrasi air limbah
HI : Variasi jarak sekat (10 cm – 10 cm) dengan (5 cm – 15 cm) pada reaktor anaerob diduga memberi pengaruh yang berbeda terhadap efisiensi penurunan konsentrasi air limbah
2. HO : Variasi perbandingan volume lumpur dengan air limbah pada reaktor anaerob (1/2 & 1/3) diduga memberi pengaruh yang sama terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD air limbah.
HI : variasi perbandingan volume lumpur dengan air limbah pada reaktor anaerob (1/2 & 1/3) diduga memberi pengaruh yang

berbeda terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD air limbah.

3. HO : Variasi waktu tinggal : 2 hari, 4 hari dan 6 hari diduga memberi pengaruh yang sama terhadap efisiensi penurunan COD air limbah.

HI : Variasi waktu tinggal : 2 hari, 4 hari dan 6 hari diduga memberi pengaruh yang berbeda terhadap efisiensi penurunan COD air limbah.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Rancangan Penelitian

Sebagaimana dikemukakan pada bab terdahulu bahwa tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jarak sekat, perbandingan lumpur aktif dengan air limbah dan waktu tinggal terhadap efisiensi penurunan COD pada proses anaerob dan proses aerob.

Penelitian ini dilakukan secara kuantitatif dengan melakukan eksperimen di laboratorium Teknik Kimia fakultas Teknik UNDIP.

Penelitian ini merupakan uji kinerja pengolahan air limbah industri tahu dalam skala laboratorium dengan variasi jarak sekat (10 cm-10cm); (5 cm-15 cm) pada reaktor anaerob, perbandingan lumpur aktif dengan air limbah (1/2 dan 1/3) pada reaktor anaerob, dan variasi waktu tinggal (2, 4, 6 hari). Diagram alir prosedur penelitian disaikan pada gambar 6

III.2. Rancangan Percobaan

Sampel air limbah tahu diambil dari limbah cair asli dari industri tahu “Tahu Eco “ Jl. Tandang Raya No 2. Kelurahan Jomlang. Kecamatan Candisari. Semarang Jawa Tengah.

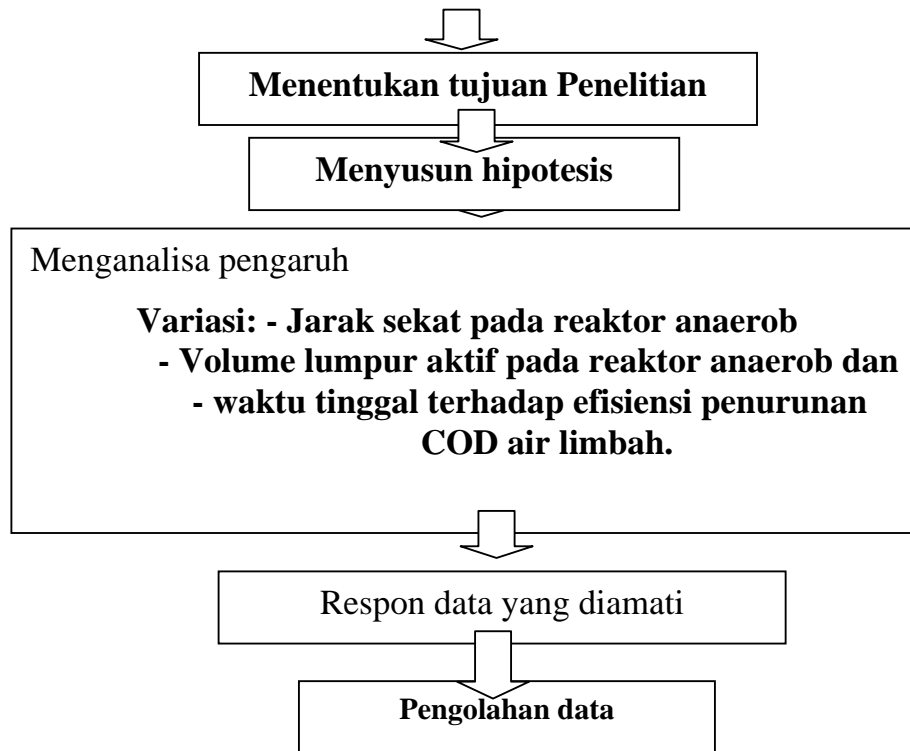
Seeding lumpur aktif diperoleh dari Laboratorium Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Penelitian ini meliputi uji laboratorium pengaruh variasi :

- jarak sekat pada reaktor anaerob (d) (10 cm – 10 cm dan 5 cm – 15 cm)
 - volume lumpur aktif pada reaktor anaerob (**l**) (1/2 dan 1/3)
 - pengaruh waktu tinggal (t), 2 hari, 4 hari dan 6 hari
- terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD air limbah .

Sehingga jumlah respon yang diamati ada 12 variasi sebagai berikut pada tabel 2 ,

<p>Latar Belakang Perumusan Masalah</p>



Gambar 6. Diagram Alir Prosedur

Respon yang diamati adalah konsentrasi COD air limbah tahu mulai dari influen, efluen anaerob dan efluen aerob.

Tabel 2. Respon Data Yang Diamati

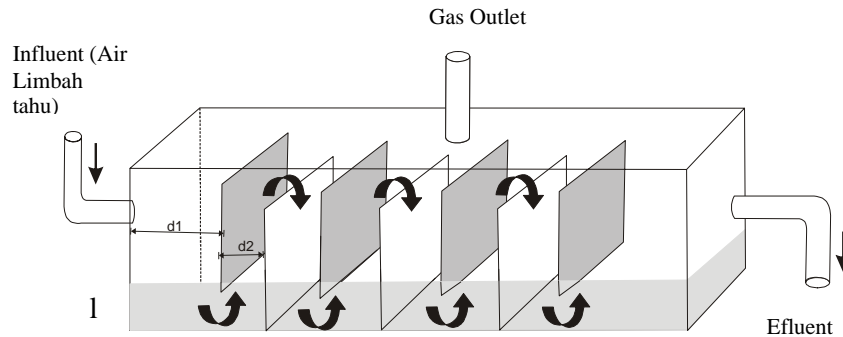
Perlakuan (P)	Waktu Tinggal (hari)	Jarak Sekat (cm)	Tinggi Lumpur
P1	2	10-10	1/3
P2	4	10-10	1/3
P3	6	10-10	1/3
P4	2	10-10	½
P5	4	10-10	½

P6	6	10-10	$\frac{1}{2}$
P7	2	5-15	$\frac{1}{3}$
P8	4	5-15	$\frac{1}{3}$
P9	6	5-15	$\frac{1}{3}$
P10	2	5-15	$\frac{1}{2}$
P11	4	5-15	$\frac{1}{2}$
P12	6	5-15	$\frac{1}{2}$

(Sumber : Data Percobaan)

III.3. Bahan dan alat

Proses pengolahan air limbah tahu menggunakan instrumen digester anaerob yaitu anaerob bafflet reaktor (gambar 7) dan reaktor aerob menggunakan pecahan batu bata (Attached-Growth) (gambar 8).



Gambar 7. Anaerob “baffled reactor”

Keterangan :

Volume 100 liter

Jarak sekat (d) variasi 1. d1 = 10 cm

.d2 = 10 cm

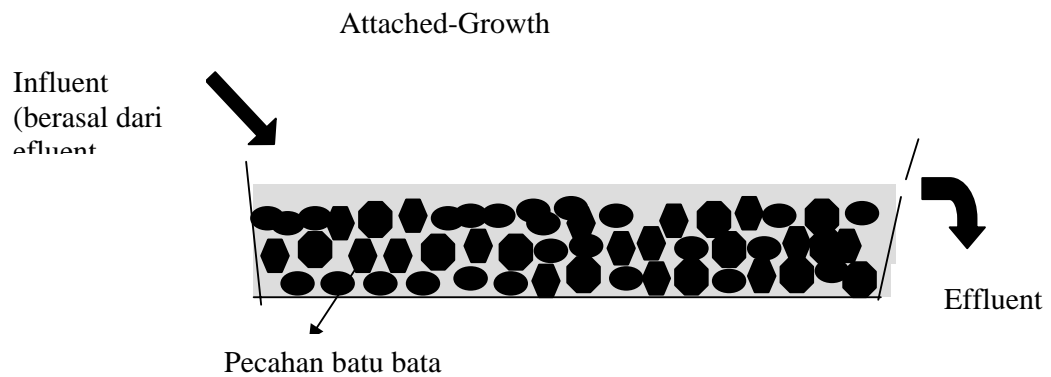
variasi 2. d1 = 5 cm

.d2 = 15 cm

Volume lumpur (l) variasi 1 : $\frac{1}{3}$ dan

variasi 2 : $\frac{1}{2}$

Pertimbangan menggunakan reaktor anaerob bersekat adalah karena bentuk/bangun reaktor praktis dan sederhana, memberi keuntungan karena dapat kontak lebih baik antara lumpur aktif yang ada dengan air limbah (upflow dan down flow), serta cocok untuk daerah tropis karena berhubungan dengan mikroorganisme mesofilik.



Keterangan : Volume 80 liter

Gambar 8 : Reaktor Aerob

Pertimbangan menggunakan reaktor ini adalah tidak memerlukan pemantauan secara kontinyu dan operator, sistem ini praktis sehingga biaya operasional dapat ditekan serendah mungkin (Rosdiana, 1997 dalam Winanto Rusli dan Agus Slamet, 2000).

Instrumen pendukung yang digunakan dalam analisis data adalah sebagaimana pada tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Instrumen Pendukung Penelitian

No.	Nama Alat	Kegunaan
1.	Buret	Untuk titrasi
2.	Statif dan klem	Untuk menyangga buret
3.	Erlenmeyer	Tempat pereaksi
4.	Pipet	Memindahkan media cair
5.	Gelas ukur	Mengukur volume media cair
6.	Tabung reaksi	Tempat pencampuran reagen
7.	Oven	Memanaskan sampel air pada suhu 105°C

8.	Pipet ukur	Memindahkan media cair dengan volume tertentu
9.	Labu takar	Mengencerkan sampel air
10.	Kertas label	Memberi nama sampel uji

(Sumber : Lab. Tek. Kimia Fak. Teknik UNDIP)

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian dan pendukung analisa data sebagaimana pada tabel 4 :

Tabel 4. Bahan-bahan yang Digunakan Dalam Penelitian

No.	Nama Bahan	Kegunaan
1.	Limbah cair dari air tahu	Sampel air yang akan diteliti
2.	Lumpur aktif (sludge)	Sumber mikroorganisme pendegradasi limbah cair
3.	$K_2Cr_2O_7$	Oksidator dalam test COD
4.	Ag_2SO_4	Katalisator dalam teset COD
5.	Ferro Ammonium Sulfat (FAS) $Fe(NH_4)(SO_4)6H_2O$	Larutan titran dalam test COD
6.	H_2SO_2 pa	Mengawetkan sampel dan menjaga pH
7.	Feroin (Fenentolin fero sulfat) $FeSO_4.7H_2O$	Indikator dalam test COD
8.	$HgSO_4$	Pengikat Cl^-
9.	Aquades	Mengencerkan sampel, pembilas

(Sumber : Lab. Tek. Kimia Fak. Teknik UNDIP)

III.4. Prosedur Penelitian

Air limbah tahu sebagai influen dialirkan ke reaktor anaerob, kemudian efluen anaerob dialirkan ke reaktor aerob. Sampel diambil dari 3 titik; influen, efluen anaerob dan efluen aerob. Pengamatan dilakukan dalam kondisi yang dianggap steady state, yang dalam penelitian ini lamanya adalah satu kali waktu tinggal.

P1 : Pada waktu jarak sekat diatur 10 cm-10 cm, volume lumpur 1/3; waktu

$$\begin{aligned}
 \text{tinggal 2 hari sehingga laju alir} &= \frac{100 \text{ liter}}{2 \text{ hari} \times 24 \times 60} \\
 &= \frac{100.000 \text{ ml}}{2880 \text{ menit}} \\
 &= 34.72 \text{ ml / menit}
 \end{aligned}$$

Pengamatan dilakukan dalam kondisi yang dianggap Steady State yang dalam penelitian ini lamanya adalah 1 hari waktu tinggal.

Respon data yang diamati diambil dari 3 titik yaitu influen; influen anaerob dan effluen aerob diambil 2 kali pagi jam 08.00 dan sore jam 14.00

P2 : Pada waktu jarak sekat diatur 10 cm-10 cm, volume lumpur 1/3; waktu tinggal 4 hari sehingga laju alir =

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100 \text{ liter}}{4 \text{ hari} \times 24 \times 60} \\
 &= \frac{100.000 \text{ ml}}{5760 \text{ menit}} \\
 &= 17.36 \text{ ml / menit}
 \end{aligned}$$

P3 : Pada waktu jarak sekat diatur 10 cm-10 cm, volume lumpur 1/3; waktu tinggal 6 hari sehingga laju alir =

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100 \text{ liter}}{6 \text{ hari} \times 24 \times 60} \\
 &= \frac{100.000 \text{ ml}}{8640 \text{ menit}} \\
 &= 11.57 \text{ ml / menit}
 \end{aligned}$$

P4 : Pada waktu jarak sekat diatur 10 cm-10 cm, volume lumpur 1/2; waktu tinggal 2 hari prosedur sama dengan **P1**, hanya volume lumpur ditambahkan sehingga menjadi 1/2.

P5 : Prosedur sama dengan **P4**, hanya waktu tinggal dirubah menjadi 4 hari

P6 : Prosedur sama dengan **P4**, hanya waktu tinggal dirubah menjadi 6 hari

P10; P11; P12. : Jarak sekat yang dirubah menjadi 15 cm – 15 cm.

P7; P8; P9 : Volume lumpur diambil sehingga menjadi 1/3

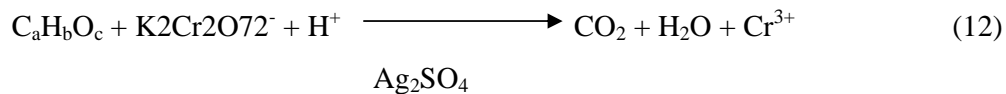
III.5. Analisis COD

Variabel utama yang diamati dalam penelitian ini adalah COD (Chemical Oxygen Demand). Menurut Alaertz dan Santika (1984) COD adalah jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air. Nilai COD merupakan ukuran pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air. Sedangkan definisi COD yang dikemukakan oleh Droste (1997) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilisasi bahan organik, yang nilainya ditentukan dengan menggunakan oksidator kuat, Idealnya oksidator ini harus dapat mengoksidasi berbagai senyawa organik namun tidak mahal. Oksidator yang memenuhi kriteria ini adalah dikromat $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Menurut Alaertz dan Santika (1984) tes COD hanya merupakan suatu analisa yang menggunakan suatu reaksi oksidasi kimia yang menirukan oksidasi biologis (yang sebenarnya terjadi di alam), sehingga merupakan suatu pendekatan saja. Karena hal tersebut diatas maka tes COD tidak dapat membedakan antara zat-zat yang sebenarnya tidak teroksidasi (inert) dan zat-zat yang teroksidasi secara biologis. COD akan menurun karena oksidasi bahan organik namun nilainya lebih tinggi daripada BOD karena produksi beberapa substansi yang sulit didegradasi.

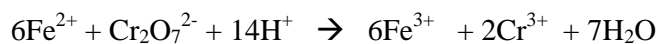
Uji COD mengukur total organic carbon dengan pengecualian bahan aromatik tertentu, seperti benzena, yang tidak dapat teroksidasi sempurna dalam reaksi. Uji COD merupakan reaksi reduksi-oksidasi, sehingga bahan tereduksi lain, seperti sulfida, sulfit, dan besi ferrous, juga dapat teroksidasi dan terukur sebagai COD. $\text{NH}_3\text{-N}$ tidak akan teroksidasi dalam uji COD (Eckenfelder W.W, 2000).

Zat organik melalui tes COD dioksidasi oleh larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dalam keadaan asam yang mendidih dengan reaksi :



Perak sulfat (Ag_2SO_4) ditambahkan sebagai katalisator untuk mempercepat reaksi, Sedangkan merkuri sulfat ditambahkan untuk menghilangkan gangguan klorida yang pada umumnya ada di dalam air limbah.

Untuk memastikan bahwa hampir semua zat organik habis teroksidasi maka zat pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ masih harus tersisa direfluks. $K_2Cr_2O_7$ yang tersisa didalam larutan tersebut digunakan untuk menentukan berapa oksigen yang telah terpakai. Sisa $K_2Cr_2O_7$ tersebut ditentukan melalui titrasi dengan ferro amonium sulfat (FAS), dimana reaksi yang berlangsung adalah sebagai berikut :



Indikator ferroin digunakan untuk menentukan titik akhir titrasi yaitu saat warna hijau biru larutan berubah menjadi coklat merah. Sisa $K_2Cr_2O_7$ dalam larutan blanko adalah $K_2Cr_2O_7$ awal, karena diharapkan blanko tidak mengandung zat organik yang dapat dioksidasi oleh $K_2Cr_2O_7$.

Analisis pendahuluan meliputi pengamatan ratio BOD_5 / COD untuk mengetahui sifat biodegradabilitas limbah organik. Bila limbah bersifat biodegradable dengan konsentrasi yang cukup tinggi (lebih dari 1000 mg/L), maka dapat dilakukan dilakukan proses anaerob.

Analisis COD terlarut didahului dengan pembuatan reagen COD (larutan standar kalium dikromat, larutan standar FAS, indikator ferroin, larutan asam sulfat-silver sulfat), Standardisasi FAS, larutan blanko.

Limbah cair diambil sebanyak 5 ml, kemudian diencerkan menjadi 50 ml dalam gelas ukur. Ambil 2 ml sampel dan 2 ml blanko dalam tabung COD. Tambahkan 0,04 mg $HgSO_4$, kalium dikromat 1 ml dan larutan asam sulfat-silver sulfat 3 ml.

Larutan tersebut dipanaskan 2 jam pada suhu 170 C, kemudian didinginkan selama 30 menit, kemudian ditambah aquadest 8 ml dan indikator ferroin 2 –3 tetes dalam erlenmeyer. Selanjutnya dilakukan titrasi dengan Ferro Amonium Sulfat (feroin) hingga warna hijau perlahan menjadi warna merah bata.

Konsentrasi COD dihitung dengan persamaan :

$$\text{COD (mg O}_2\text{/l)} = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{(\text{ml})_{\text{sampel}}} \quad (13)$$

Keterangan ; a = volume FAS yang digunakan untuk titrasi blanko (ml)

B= volume FAS yang digunakan untuk titrasi sampel (ml)

N = normalitas larutan FAS (ml)

III.6. Analisis Data

Perhitungan COD menggunakan persamaan (13), hasil perhitungan disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Titrasi.

No	Variasi	Titration	Dilution	COD
1	t ₂ 10-10.1/3 (P1) N=0.091642	B : 2.79 1 : 1.29 2 : 0.22 3 : 1.3	15 x 5 x 5 x	8248 4949 2731
2	t ₄ 10-10.1/3 (P2) N=0,1	B : 2.4 1 : 1.1 2 : 1.2 3 : 1.8	10 x 5 x 5 x	5200 2400 1200
3	t ₆ 10-10.1/3 (P3) N=0,091642	B : 2.75 1 : 0.3 2 : 1.57 3 : 1.8	10 x 5 x 5 x	8981 4325 1650
4	t ₂ 10-10.1/2 (P4) N=0.91642	B : 2.7 1 : 0.7	10 x	7331

		2 : 1.4 3 : 1.8	5 x 5 x	4765 1650
5	t ₄ 10-10.1/2 (P5) N=0.1	B : 3.39 1 : 2 2 : 2.2 3 : 2.8	10 x 5 x 5 x	5560 2380 1180
6	t ₆ 10-10.1/2 (P6) N=0.1	B : 2.29 1 : 1 2 : 1.2 3 : 1.3	10 x 5 x 5 x	7600 3400 1200
7	t ₂ 5-15.1/3 (P7) N=0.91642	B : 3 1 : 0.78 2 : 1.45 3 : 1.55	10 x 5 x 5 x	8138 5682 2758
8	t ₄ 5-15.1/3 (P8) N=0.91642	B : 2.75 1 : 0.25 2 : 0.95 3 : 1.55	10 x 5 x 5 x	9164 3299 2199
9	t ₆ 5-15.1/3 (P9) N=0.1	B : 2.7 1 : 1 2 : 0.5 3 : 2.1	10 x 5 x 5 x	6800 4400 1200
10	t ₂ 5-15.1/2 (P10) N=0.1	B : 2.6 1 : 1.1 2 : 1 3 : 1.8	10 x 5 x 5 x	6000 3200 1600
11	t ₄ 5-15.1/2 N=0.1	B : 4 1 : 2.1 2 : 2.3 3 : 3.2	10 x 5 x 5 x	7600 3400 1600
12	t ₆ 5-15.1/2 N=0.1	B : 2.6 1 : 0.8 2 : 0.5 3 : 2.1	10 x 5 x 5 x	7200 4200 1000

(Sumber : Hasil Data Percobaan Elly Y. S, 2005)

Keterangan : B = Blanko

1 = Influent

2 = Effluent anaerob

3 = Effluent aerob.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

Uji pendahuluan dilakukan untuk mengetahui karakteristik limbah cair industri tahu. Hasil uji pendahuluan tersebut dapat dilihat pada tabel.

Tabel 6. Karakteristik Limbah Cair Industri Tahu

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisa
1.	TSS	mg/l	1266
2.	BOD	mg/l	3247
3.	COD	mg/l	5771
4.	PH	-	3,98
5.	Coliform Tinja	MPN/100ml	0
6.	Total Coli	MPN/100ml	0

Anonim. 2004.

Sebagian besar sumber limbah cair yang dihasilkan oleh industri tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut dengan air dadih (*whey*) . cairan ini mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai.

Dari hasil analisis pendahuluan sebagaimana tabel 6 dapat diketahui rasio BOD/COD limbah sebesar $3274 / 5771 = 0,567$. Nilai ini menunjukkan limbah cair tahu bersifat biodegradable (Alaerts,G dan Sri Sumestri SS, 1984), sehingga limbah cair dapat diolah secara biologis. Karena cair tahu memiliki nilai COD 5771 mg / l , maka limbah tersebut dapat diolah melalui proses an aerob. Hal ini sejalan dengan pendapat Droste (1997) bahwa batas minimum konsentrasi COD influen untuk mencapai keberhasilan pengolahan an aerob adalah 1000 mg/l. Melalui proses an aerob diharapkan senyawa – senyawa organik kompleks akan terurai menjadi senyawa organik sederhana .

Senyawa organik merupakan sumber karbon bagi mikroba heterotrof (Hendarko S, et al, 2002). Lebih lanjut dikemukakan bahwa mikroba an aerob menggunakan senyawa organik sebagai aseptor elektron dalam proses oksidasi biologinya. Selain itu senyawa organik diperlukan sebagai faktor tumbuh, yaitu bahan penyusun sel. Faktor tumbuh tidak dapat disintesis dari sumber karbon sederhana dan hanya diperlukan dalam jumlah yang sangat sedikit. Dengan nilai COD influen 5771 mg/l menunjukkan kandungan senyawa organik yang cukup tinggi dalam limbah, sehingga ketersediaan bahan organik sebagai sumber karbon, sumber energi, aseptor elektron dan faktor tumbuh dalam proses bioenergi bagi mikroba telah tercukupi.

IV.2. Pengaruh Variasi Percobaan Terhadap Efisiensi Penurunan COD

Pengolahan air limbah tahu dilakukan dengan menggunakan reaktor anaerob dengan bentuk reaktor yang bersekat (anaerobic baffled reaktor), kemudian efluen anaerob ditampung masuk ke dalam reaktor aerob, reaktor aerob menggunakan pecahan batu bata. Variasi percobaan dilakukan pada reaktor anaerob, yaitu : variasi jarak sekat (10 cm-10 cm) dan (5 cm-15 cm); variasi lumpur (1/2 dan 1/3). Seeding dilakukan sesuai dengan variasi waktu tinggal yaitu: 2 hari, 4 hari dan 6 hari sampai keadaan tunak. Pengukuran diambil pada 3 titik yaitu: influen, efluen anaerob dan efluen aerob. Hasil pengukuran COD limbah cair tahu setelah perlakuan disajikan pada tabel 7 sebagai berikut :

Tabel 7. Hasil Pengukuran COD Air Limbah Tahu.

Perlakuan (P)	Influen (mg/l)	Efluen Anaerob (mg/l)	Effisiensi (%)	Efluen Aerob (mg/l)	Effisiensi (%)	Penurunan COD (%)
P1	8248	4949	40	2731	44.48	66.89
P2	5200	2400	53	1200	50	76.92
P3	8981	4525	51.84	1650	61.85	81.63
P4	7331	4765	35	1650	65.37	77
P5	5560	2380	57	1180	50.42	78.78
P6	7600	3400	55.26	1200	64.71	84.20
P7	8138	5682	30.18	2658	53.22	67.34
P8	9164	3299	64	2199	46.70	76
P9	6800	4400	35.29	1200	72.72	82.35
P10	6000	3200	46.67	1600	50	73.33
P11	7600	3400	55.26	1600	52.94	78.95
P12	7200	4200	41.67	1000	76.19	86.10

(Sumber : Hasil Data Percobaan Elly Y. S, 2005)

Pada efluen anaerob efisiensi penurunan COD berkisar antara 30.18% - 64%

Terbesar pada P8 (t4 ; 5 cm-15 cm ; 1/3) yaitu 64%, sedangkan penurunan COD terkecil pada P7 (t2 ; 5 cm-15 cm; 1/3) yaitu 30.18%.

Efisiensi penurunan COD terbesar pada P8 (64%) jarak sekat 5 cm – 15 cm dan volume lumpur 1/3 waktu tinggal 4 hari.

Hal ini kemungkinan disebabkan terjadi *carry over* karena :

- **Fluktuasi influen yang berbeda.**
- **Influen tertinggi pada P8 yaitu 9164 mgr/l.**
- **Sisa COD sebelumnya yang tertinggal yaitu pada waktu pergantian variasi waktu tinggal.**

Keadaan seperti ini sulit dikendalikan / tidak terukur, sehingga secara teoritis, waktu tinggal lebih lama penurunan COD seharusnya lebih besar, tetapi dari uraian diatas kejadian ini tidak sesuai dengan teori, yaitu penurunan COD terbesar pada waktu tinggal 4 hari, bukan waktu tinggal 6 hari.

Pada efluen aerob efisiensi penurunan COD berkisar antara 44.48% - 76.19%. Penurunan COD terbesar pada P12 (t6; 5 cm-15 cm; 1/2) yaitu 76.19%, sedangkan penurunan COD terkecil pada P1 (t2; 10 cm-10 cm; 1/3) yaitu 44.48%

Efisiensi penurunan COD keseluruhan / akhir yaitu setelah proses anaerob dan aerob berkisar antara 66.89% - 86.10%, penurunan COD terbesar pada P12 (t6; 5 cm-15 cm; 1/2) yaitu 86.10%, sedangkan penurunan COD terkecil pada P1 (t2; 10 cm-10 cm; 1/3), yaitu 66.89%

Proses perombakan secara anaerob, pada prinsipnya ; bahan organik komplek dirombak menjadi asam organik sederhana dan selanjutnya diuraikan lagi dalam bentuk gas. Proses anaerob dapat mengurangi kandungan organik limbah organik yang pekat, sehingga menjadi sesuai untuk penanganan biologi anaerob.

IV.3 Pengaruh Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Anaerob

Efisiensi penurunan COD pada reaktor anaerob dilakukan dengan menghitung hasil tetraisi influen dan efluen dari reaktor anaerob. Data hasil percobaan disajikan pada tabel 8.

Tabel 8. Efisiensi Penurunan COD Pada Reaktor Anaerob

Volume lumpur	Waktu Tinggal (Hari)	Jarak Sekat (Cm)	
		10 ~ 10 (%)	5 ~ 15 (%)
1/3	2	40	30,18
	4	53	64
	6	51,84	35,29
1/2	2	35	46,67
	4	57	55,26
	6	55,26	41,67

(Sumber : Hasil Data Percobaan Elly Y. S, 2005)

IV.3.1. Pengaruh Volume Lumpur.

Pada tabel 8 tampak bahwa penurunan COD pada reaktor anaerob, jarak sekat 10 cm-10 cm dan 5 cm-15 cm, dengan variasi volume lumpur 1/3 & 1/2, waktu tinggal 2, 4 dan 6 hari, menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD pada

volume lumpur 1/2 lebih besar dibandingkan volume lumpur 1/3, kecuali untuk waktu tinggal 2 hari, pada jarak sekat 10 cm-10 cm dan waktu tinggal 4 hari pada jarak sekat 5 cm-15 cm, efisiensi penurunan COD pada volume lumpur 1/3 lebih besar dibanding volume lumpur 1/2 .

Volume lumpur lebih besar, berarti mikroba lebih banyak, sehingga senyawa organik dalam air limbah yang dibutuhkan oleh mikroba juga makin banyak, akibatnya penurunan COD makin besar.

IV.3.2. Pengaruh Jarak Sekat

Pada tabel 8 tampak bahwa penurunan COD pada reaktor anaerob, volume lumpur 1/3 dan 1/2 dengan variasi, waktu tinggal 2, 4 & 6 hari, pada jarak sekat 10 cm–10 cm mempunyai karakteristik yang sama dengan jarak sekat 5 cm-15 cm, penurunan COD terbesar pada waktu tinggal 4 hari .

Hal ini menunjukkan bahwa hidrodinamika pada reaktor anaerob tidak dipengaruhi oleh jarak sekat. Seperti pada hukum hidrodinamika yang menyatakan bahwa :

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (14)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (15)$$

$$\rho g + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \rho g + \frac{v_2^2}{2g} + y_2 \quad (16)$$

Keterangan :

V = Volume (m³)

v = Kecepatan aliran (m/sec.)

A = Luas Penampang (m²)

m = Massa air (Kg/cm³)

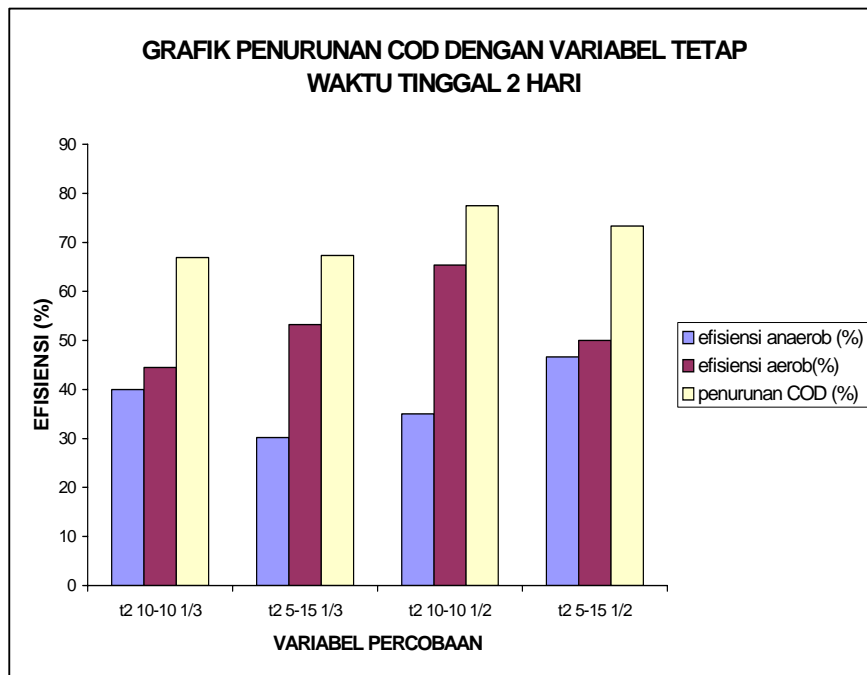
ρ = Massa jenis cairan (Kg/cm³)

g = Gravitasi (g)

Dalam waktu yang sama (t), maka debit sama dan massa yang dipindahkan juga sama.

Sehingga sekat 10 cm ~ 10 cm mempunyai pengaruh yang sama dengan sekat 5 cm-15 cm. bearti jarak sekat tidak berpengaruh terhadap efisiensi penurunan COD.

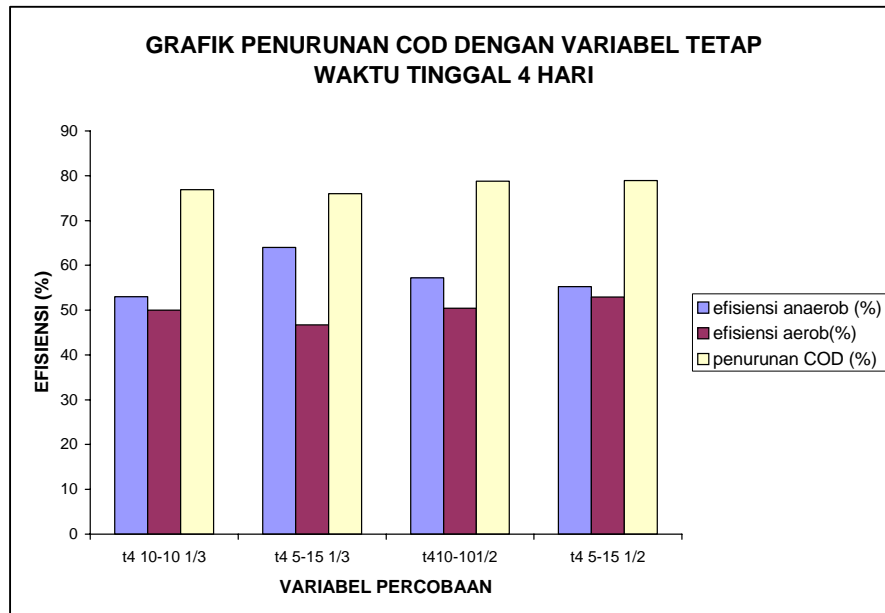
IV.4 Pengaruh Efisiensi Penurunan COD Fungsi Waktu tinggal



Gambar 9. Grafik Penurunan COD dengan Variabel Tetap Waktu Tinggal 2 hari

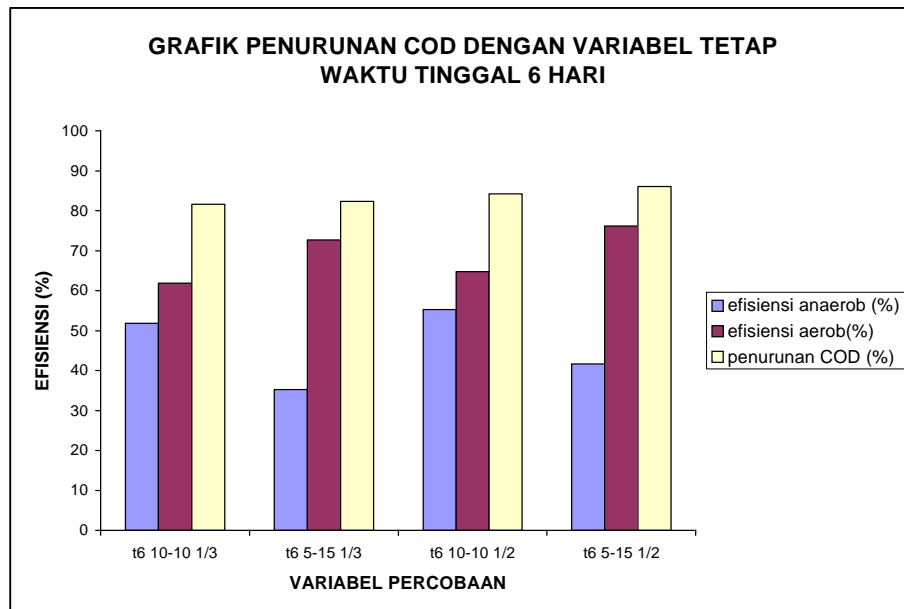
Gambar 9 menunjukkan bahwa pada waktu tinggal 2 hari, penurunan COD pada reaktor anaerob lebih rendah dibandingkan reaktor aerob. Untuk lumpur 1/3 penurunan COD pada reaktor anaerob lebih besar pada jarak sekat 10 cm-10 cm dibandingkan dengan jarak sekat 5 cm-15 cm, sedangkan penurunan COD pada reaktor aerob lebih besar pada sekat 5 cm-15 cm dibandingkan jarak sekat 10 cm-10 cm, dengan total penurunan COD hampir sama. Untuk lumpur 1/2 penurunan COD pada reaktor anaerob lebih besar pada sekat 5 cm-15 cm lebih besar dibandingkan sekat 10 cm -10 cm, sedangkan penurunan COD pada reaktor aerob lebih besar pada sekat 10 cm

-10 cm dibandingkan sekat 5 cm -15 cm, dengan total penurunan COD hampir sama, tetapi penurunan COD pada lumpur 1/2 sedikit lebih tinggi dibandingkan lumpur 1/3.



Gambar 10. Grafik Penurunan COD dengan Variabel Tetap Waktu Tinggal 4 hari

Gambar 10 menunjukkan bahwa pada waktu tinggal 4 hari, penurunan COD pada reaktor anaerob lebih tinggi dibandingkan reaktor aerob. Untuk lumpur 1/3 penurunan COD pada reaktor anaerob lebih besar pada jarak sekat 5 cm - 15 cm dibandingkan dengan jarak sekat 10 cm -10 cm, sedangkan penurunan COD pada reaktor aerob hampir sama pada sekat 5 cm -15 cm maupun pada jarak sekat 10 cm -10 cm ,dengan total penurunan COD hampir sama. Untuk lumpur 1/2 penurunan COD pada reaktor anaerob hampir sama pada sekat 5 cm -15 cm maupun sekat 10 cm -10 cm, sedangkan penurunan COD pada reaktor aerob hampir sama pada sekat 10 cm -10 cm maupun sekat 5 cm -15 cm, dengan total penurunan COD hampir sama. Total penurunan COD pada semua variasi hampir sama.



Gambar 11. Grafik Penurunan COD dengan Variabel Tetap Waktu Tinggal 6 hari

Gambar 11 menunjukkan bahwa pada waktu tinggal 6 hari, penurunan COD pada reaktor anaerob lebih rendah dibandingkan reaktor aerob. Untuk lumpur 1/3 penurunan COD pada reaktor anaerob lebih besar pada jarak sekat 10 cm -10 cm dibandingkan dengan jarak sekat 5 cm -15 cm, sedangkan penurunan COD pada reaktor aerob lebih besar pada sekat 5 cm -15 cm dibandingkan jarak sekat 10 cm -10 cm, dengan total penurunan COD hampir sama. Untuk lumpur 1/2 penurunan COD pada reaktor anaerob lebih besar pada sekat 10 cm -10 cm lebih besar dibandingkan sekat 5 cm -15 cm, sedangkan penurunan COD pada reaktor aerob lebih besar pada sekat 10 cm -10 cm dibandingkan sekat 5 cm -15 cm, dengan total penurunan COD hampir sama. Total penurunan COD pada semua variasi hampir sama.

Dari gambar 9 dan 11 untuk waktu tinggal 2 dan 6 hari, nampak bahwa penurunan COD pada reaktor anaerob selalu lebih rendah dibandingkan reaktor aerob, karena laju fermentasi pada sistem anaerobik lazimnya selalu lebih rendah jika dibandingkan dengan sistem aerob. Hal ini disebabkan karena kesetimbangan

antara substrat dan produk sulit untuk dipertahankan. CO₂ yang terbentuk dalam sistem anaerob dan akan mempengaruhi laju fermentasi tidak dapat keluar dari sistem sehingga terjadi pengaruh negatif (Betty Sri LJ dan Winiati Pudji R,1993). Sehingga penurunan COD oleh reaktor lebih rendah. Sedangkan untuk waktu tinggal 4 hari seperti tampak pada gambar 10 penurunan COD reaktor anaerob sedikit lebih tinggi dari aerob. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh jumlah CO₂ hasil proses anaerob dalam keseimbangan dengan yang diperlukan untuk proses aerob berikutnya.

IV.5 Penurunan COD Total

Perbandingan penurunan COD total terhadap penurunan COD tiap reaktor ditunjukkan oleh tabel-tabel berikut :

Tabel 9. Penurunan Total COD Volume Lumpur 1/3, Sekat 10-10 cm.

Waktu tinggal (hari)	Efisiensi Penurunan COD (%)		
	An aerob	Aerob	Total
2	40	44,48	66,89
4	53	50	76,92
6	51,84	61,85	81,63

(Sumber : Hasil Data Percobaan Elly Y. S, 2005)

Tabel 10. Penurunan Total COD Volume Lumpur 1/3, Sekat 5-15 cm.

Waktu tinggal (hari)	Efisiensi Penurunan COD (%)		
	An aerob	Aerob	Total
2	30,18	53,22	67,34
4	64	46,70	76
6	35,29	72,72	82,35

(Sumber : Hasil Data Percobaan Elly Y. S, 2005)

Tabel 11. Penurunan Total COD Volume Lumpur 1/2, Sekat 10-10 cm.

Waktu tinggal (hari)	Efisiensi Penurunan COD (%)		
	An aerob	Aerob	Total
2	35	65,37	77
4	57	50,42	78,78
6	55,26	64,71	84,20

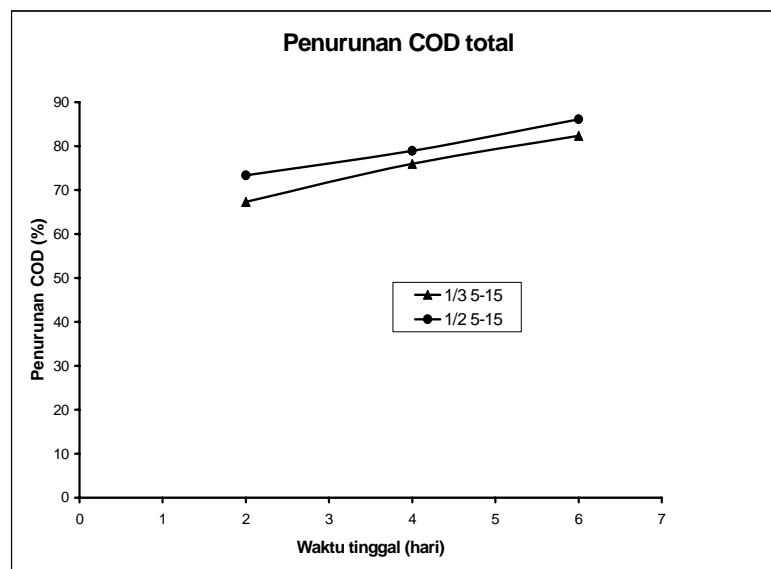
(Sumber : Hasil Data Percobaan Elly Y. S, 2005)

Tabel 12. Penurunan Total COD Volume Lumpur 1/2, Sekat 5-15 cm.

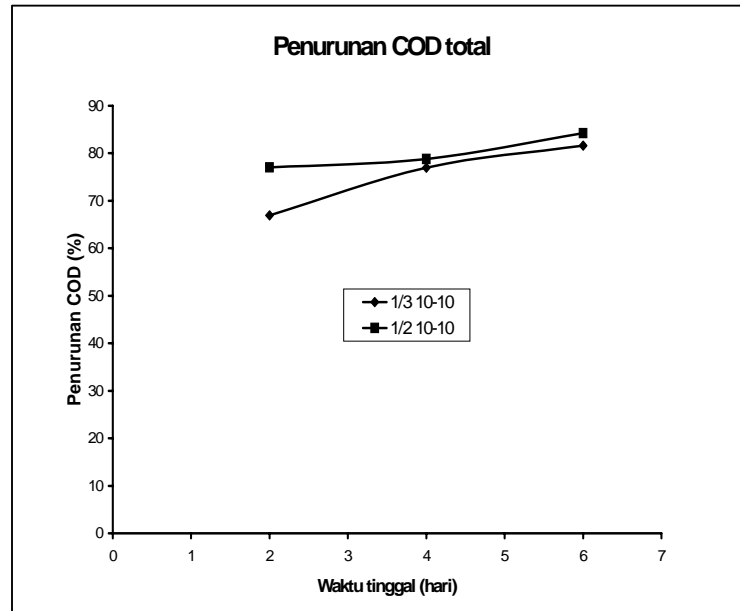
Waktu tinggal (hari)	Efisiensi Penurunan COD (%)		
	An aerob	Aerob	Total
2	46,67	50	73,33
4	55,26	52,94	78,95
6	41,67	76,19	86,10

(Sumber : Hasil Data Percobaan Elly Y. S, 2005)

Dari tabel 9 sampai dengan tabel 12 tampak bahwa penurunan COD yang dapat dicapai oleh tiap reaktor anaerob maupun aerob selalu lebih rendah dibandingkan setelah perlakuan dengan kombinasi keduanya. Reaktor anaerob menurunkan COD antara 35 % sampai 64 % dan reaktor aerob 44,48 % sampai dengan 76,19 %, sedangkan setelah dilakukan perlakuan kombinasi keduanya penurunan COD total mencapai 66,89 % sampai dengan 86,10 %. Penurunan total COD tiap waktu tinggal (2,4 dan 6hari) untuk volume lumpur yang sama hampir sama. Meskipun untuk tiap reaktor penurunan COD yang terjadi berbeda-beda.



Gambar 12. Grafik Penurunan COD Total Fungsi Waktu Tinggal untuk Sekat 10 cm -10 cm.



Gambar 13. Grafik Penurunan COD Total Fungsi Waktu Tinggal untuk Sekat 5 cm -15 cm

Gambar 12. Menunjukkan hubungan penurunan COD total terhadap kenaikan waktu tinggal setelah perlakuan menggunakan reaktor anaerob dan aerob untuk jarak sekat 10 cm -10 cm. Pada gambar tampak bahwa penurunan COD total semakin tinggi dengan bertambahnya waktu tinggal. Tampak pula bahwa untuk reaktor dengan volume lumpur 1/2 penurunan COD lebih besar daripada reaktor yang menggunakan volume lumpur 1/3. Gambar 13. juga menunjukkan karakteristik yang sama. Penurunan COD juga meningkat dengan semakin lamanya waktu tinggal. Demikian pula penurunan COD untuk volume lumpur 1/2 lebih tinggi dibandingkan bila volume lumpur 1/3.

Berdasarkan kedua gambar tersebut diketahui bahwa penurunan COD meningkat dengan semakin lamanya waktu tinggal. Hal ini disebabkan semakin lama waktu tinggal jumlah mikroba yang terdegradasi semakin tinggi sehingga COD semakin turun. Sedangkan bila volume lumpur lebih besar jumlah mikroba didalamnya lebih banyak. Sehingga jumlah air limbah yang dapat terdegradasi oleh mikroba meningkat, hal ini mengakibatkan menurunnya COD. Efisiensi

penurunan COD keseluruhan / total yaitu setelah akhir proses anaerob dan aerob berkisar antara 66.89% sampai dengan 86.10%, penurunan COD terbesar pada variasi t6; 10 cm -10 cm; 1/2 yaitu 86.10%, sedangkan penurunan COD terkecil pada variasi t2; 10 cm -10 cm; 1/3. yaitu 66,89%.

Pengaruh variasi sekat terhadap penurunan COD total ditunjukkan pada tabel 13 berikut.

Tabel 13. COD Total

Volume lumpur	Waktu Tinggal (Hari)	Jarak Sekat (Cm)	
		10 ~ 10 (%)	5 ~ 15 (%)
1/3	2	66,89	67,34
	4	76,92	76
	6	81,83	82,35
1/2	2	77	73,33
	4	78,78	76,95
	6	84,20	86,10

(Sumber : Hasil Data Percobaan Elly Y. S, 2005)

Pada tabel 13 tampak bahwa penurunan COD total dengan variasi sekat 10 cm -10 cm dan 5 cm -15 cm untuk waktu tinggal 2, 4 dan 6 hari menggunakan lumpur 1/2 maupun 1/3 menunjukkan nilai yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa variasi jarak sekat tidak berpengaruh terhadap penurunan COD.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan.

1. Jarak sekat tidak berpengaruh terhadap efisiensi penurunan konsentrasi COD air limbah. Jarak sekat 10 cm – 10 cm mempunyai pengaruh yang sama dengan jarak sekat 5 cm – 15 cm.
2. Volume lumpur berpengaruh terhadap efisiensi penurunankonsentrasi COD air limbah, semakin besar volume lumpur, efisiensi penurunan konsentrasi COD makin besar yaitu pada volume lumpur $\frac{1}{2}$ lebih besar daripada volume lumpur $\frac{1}{3}$.
3. Waktu tinggal berpengaruh terhadap efisiensi penurunan COD, semakin lama waktu tinggal (6 hari) efisiensi penurunan COD semakin besar.
Terjadi *Carry over* pada percobaan yaitu jarak sekat 5 cm – 15 cm, volume lumpur $\frac{1}{3}$ dan waktu tinggal 4 hari.

V. 2. Saran

Perlu penelitian yang terpisah untuk tiap variasi waktu tinggal agar dapat menghindari terjadinya *Carry over*.

Reaktor anaerob bersekat dapat dipakai untuk mengolah COD pada beban organik yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan Santika, SS. 1984. *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional. Surabaya.
- Anonim. 1992. *Manajemen Limbah Industri Pangan*. PAU Pangan & Gizi UGM. Yogyakarta.
- Anonim. 2004. *Laboratorium Pengujian Limbah dan Lingkungan dan Aneka Komoditi*. Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Industri dan Perdagangan, Semarang. Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- Betty Sri, LJ dan Winiati Pudji, R. 1993. *Penangan Limbah Industri Pangan*. PAU Pangan & Gizi IPB. Bogor.
- Chariton, AP dan Wahyono Hadi. 2000. *Studi Pertumbuhan Bed Lumpur Kaitannya dengan Produksi Biogas pada Pengolahan Limbah Pabrik Tahu dengan Reaktor Aliran Horizontal*. Jurnal Purifikasi Vol.1 No.5 September 2000. Surabaya.
- Damanhuri, E. 2001. *Sludge Treatment*. Badan Pelatihan Pengelolaan Limbah Cair Industri. Pusdiklat BAPEDAL. Serpong.
- Droste, R. 1997. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. John Wiley and Son. Canada.
- Eckenfelder, W.W. 2000. *Industrial Water Pollution Control 3rd Edition*, International Edition. Mc Graw-Hill Higher Education. Singapore.
- Hartati, ME. 1998. *Proses Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Tahu Secara Aerobik-Anaerobik*. Buletin Berita Lit Bang Industri 24: 45-55.
- Hendarko, S et al. 2002. *Mikrobiologi Dasar*. Jurusan Biologi Fakultas MIPA Universitas Diponegoro. Semarang.
- Jarwati, Sartantono dan Sukani. 1994. *Peningkatan Energi dari Hasil Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dan Tempe*. Balai Penelitian dan Pengembangan Industri Departemen Prindustrian RI. Semarang
- Mahida. 1984. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri Pangan*. CV Rajawali. Jakarta.

- Mardisiwayo, P et al. 1993. *Petunjuk Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran Limbah Padat dan Cair Industri*. Departemen Perindustrian. Jakarta.
- Marpaung, R dan Anwar Basuki. 2001. *Pengolahan Lumpur Biologis dengan Proses Anaerob Digestion*. Laporan Penelitian Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro. Semarang.
- Partoatmojo, S. 1991. *Karakteristik Limbah Cair Pabrik Tahu dan Pengolahannya dengan Ecenggondok (Eichormia Crasipes(Mart) Solums*. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lembaga Penelitian Institut Pertanian Bogor.
- Potter, C. Soeparwadi, M & Gani A. 1994. *Limbahn Cair berbagai Industri di Indonesia*. Sumber, Pengendalian dan Baku mutu. Enviromental Management Development in Indonesia (EMDI).
- Reynolds, TD. 1982. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. Brooks/Cole Engineering Division. Monterey, California.
- Rizal Syarif & Haryadi Halid. 1993. *Teknologi Penyimpanan Pangan*. PAU Pangan & Gizi IPB. Penerbit Arcan. Jakarta.
- Setiadi, Tj. 2001. *Pengolahan Limbah Cair Secara Sekunder (Biologi)*. Bahan Pelatihan Pengelolaan Limbah Cair Industri. Pusdiklat BAPEDAL. Serpong.
- Sriharti, Tahiyah Salim dan Sukirno. 2004. *Teknologi Penanganan Limbah Cair Tahu*. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro. Semarang.
- Yulianti, S dan Sarwoko Mangkoedihardjo. 2001. *Penurunan COD Limbah Tempe dengan Anaerobic Horizontal Baffled Reactor serta Ekotoksitasnya Terhadap Oryza sativa dan Phaseolus radiatus*. Jurnal Purifikasi Vol 2 no.3, Mei 2001. Surabaya.
- Yustikarini, RT dan Gogh Yoedihanto. 2000. *Studi Kinerja Anaerobic Radial Mixing Reactor Terhadap Penurunan Kandungan COD dan SS Influen IPLT Sukilo, Surabaya*. Jurnal Purifikasi Vol.1 no.3 Mei 2000. Surabaya.
- Volk, W.A & Wheeler, M.F, 1988. *Mikrobiologi Dasar*. Terjemahan dari Basic Microbiology, Fifth Edition, Editor Soemartono Adisoemarto. Penerbit Erlangga.
- Winanto Rusli dan Agus Slamet, 2000. *Studi Penurunan Kandungan Fosfat Dalam Limbah Tahu Dengan Sistem Biological Attached-Growth*. Jurnal Purifikasi, Vol 1, No.3. Mei 2000 : 163-168

Lampiran 1 :

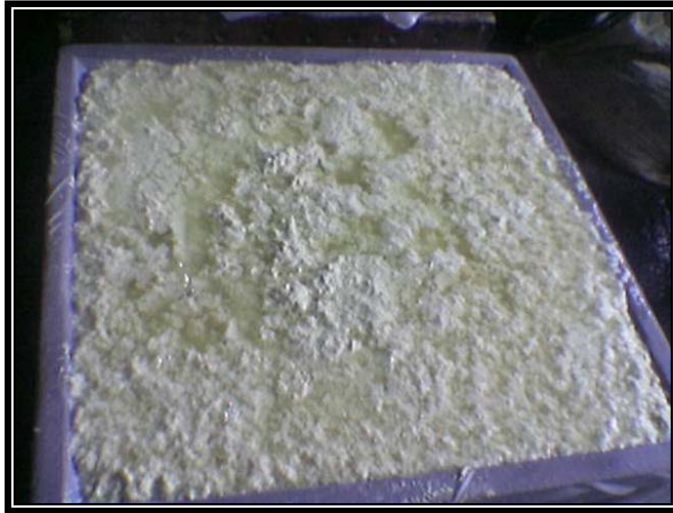
Foto Industri tahu "Tahu Eco "



1. Proses Perendaman kedelai



2. Proses penggilingan kedelai



3. Proses penyaringan



4. Proses Penggumpalan



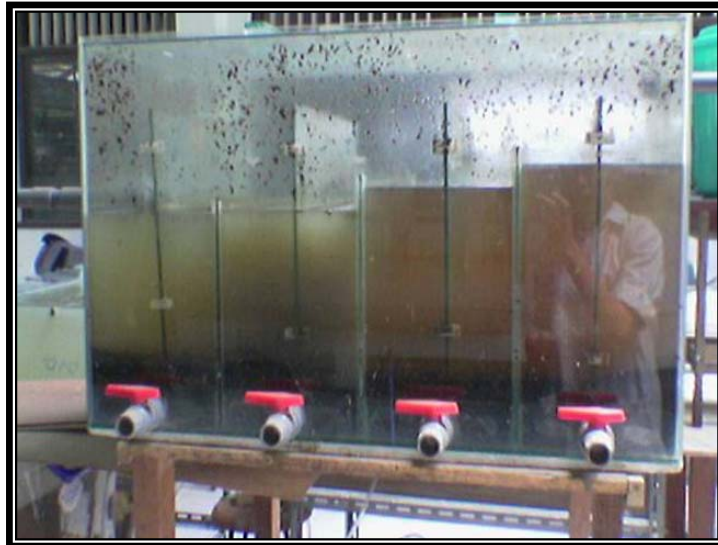
5. Proses Pencetakan



6. Proses Pemotongan

Lampiran 2 :

Foto di Laboratorium Teknik Kimia UNDIP



1. Anaerob



2. Aerob



3. Paralel Anerob dan Aerob

Lampiran 3 :

Foto Instalasi Pengolahan Air Limbah





